



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ALTERNATIVNÍ POHONY A PALIVA

ALTERNATIVE POWERTRAINS AND FUELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Rastislav Ondica

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Rastislav Ondica**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Radim Dundálek, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Alternativní pohony a paliva

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled specifických vlastností alternativních pohonů a paliv, zhodnocení výhod a nevýhod.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit přehled alternativních pohonů a paliv.

Analyzovat přednosti a nedostatky jednotlivých alternativních pohonů a paliv.

Předpokládané trendy dalšího vývoje.

Seznam literatury:

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3rd edition. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, 1999. 641 s. ISBN 0768004950.

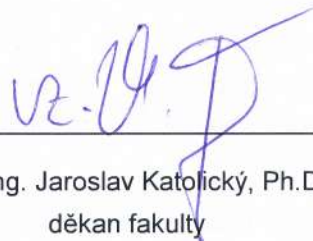
HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 25. 10. 2016



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto práca ukazuje iné možnosti pohonu automobilu, ako sú benzín a nafta. Pojednáva rôzne alternatívne palivá pre spaľovacie motory. Taktiež vysvetľuje hybridný a elektrický pohon vozidiel. Zameriava sa hlavne na aspekty ako sú ekológia, náklady, bezpečnosť a využiteľnosť jednotlivých riešení.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

LPG, CNG, biopalivo, rastlinný olej, bionafta, alkoholy, etanol, hybrid, elektromobil, batéria, vodík, palivový článok, emisie

ABSTRACT

This thesis explores different options about how to drive a vehicle, than using petrol and diesel. It discusses alternative fuels for combustion engines. It also explains hybrid and electric powertrains. It concentrates mostly on aspects such as ecology, costs, safety and the possibility of using those solutions.

KEYWORDS

LPG, CNG, biofuel, seed oil, biodiesel, alcohols, ethanol, hybrid, electric vehicle, battery, hydrogen, fuel cell, emissions

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ONDICA, R. *Alternativní pohony a paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 56 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D..

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 26. mája 2017

.....

Rastislav Ondica

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu tejto práce Ing. Radimovi Dundálkovi, Ph.D. za cenné rady a pripomienky pri tvorbe tejto bakalárskej práce. Taktiež sa chcem poďakovať svojej rodine a priateľom, ktorí ma podporovali počas celého štúdia.

OBSAH

Úvod	9
1 Alternatívne palivá pre spaľovacie motory	9
1.1 Plyny	9
1.2 Biopalivá	9
2 Hybridné vozidlá	23
2.1 Základné informácie o hybridných vozidlách	23
2.2 Usporiadanie hybridných pohonov	24
2.3 Technolódie spojené s hybridným pohonom a ich budúcnosť	27
2.4 Emisie vozidiel s hybridným pohonom	31
2.5 Bezpečnosť vozidiel s hybridným pohonom	31
2.1 Výhody vozidiel s hybridným pohonom	31
2.1 Nevýhody vozidiel s hybridným pohonom	31
3 Elektromobily	32
3.1 Základné informácie o elektromobiloch	32
3.2 Typy elektrických vozidiel	33
3.3 Batérie	35
3.4 Nabíjanie elektromobilov	36
3.5 Tesla motors	38
3.6 Emisie elektromobilov	40
3.7 Bezpečnosť elektromobilov	41
3.8 Výhody elektromobilov	41
3.9 Nevýhody elektromobilov	41
4 Vodíkový pohon	42
4.1 Vodík ako palivo pre spaľovacie motory	42
4.2 Palivové články ako zdroj elektriny	43
4.3 Emisie vodíkového pohonu	47
4.4 Bezpečnosť vodíkového pohonu	48
4.5 Výhody vodíkového pohonu	48
4.6 Nevýhody vodíkového pohonu	48
Záver	49
Použité informačné zdroje	50
Zoznam použitých skratiek	56

ÚVOD

Dôvodov motivácie na vývoj a výrobu automobilov s pohonom iným, ako sú dnes konvenčné spaľovacie motory pracujúce na benzín či motorovú naftu, je hneď niekoľko. Podľa odhadu amerického úradu pre sčítanie ľudu k 18. 12 2016 populácia planéty Zeme predstavuje približne 7 359 000 000 ľudí. [15] Spolu s počtom obyvateľov rastie aj počet automobilov, ktorých počet už v roku 2011 prekročil hranicu 1 000 000 000. [21] Väčšina týchto vozidiel funguje na tradičné pohony, teda spaľovacie motory, ktorých výfukové plyny obsahujú najmä trojatómové plyny prispievajúce k zvýšeniu skleníkového efektu v atmosfére. Jedným z problémov je koncentrácia týchto áut. Ako vieme, nie sú rozložené po svete rovnomerne, ale existujú miesta s vysokou koncentráciou, ako napríklad veľkomestá, a, naopak, s nízkou. Práve v mestách je táto téma veľmi aktuálna. Vieme, že metropoly, ako Paríž, New York, Tokio a iné, sa so smogom snažia bojovať už dlhé roky. Práve tu môžu v blízkej budúcnosti nájsť uplatnenie niektoré alternatívne pohony, ktoré majú buď nižšie, alebo žiadne priame emisie.

Ďalšou dobre známou prekážkou tradičných pohonov sú klesajúce zásoby ropy. Jej úplné vyčistenie je predpokladané v priebehu najbližších desaťročí. Dovtedy sú očakávané aj prudké nárasty cien pohonných hmôt.

Je preto nevyhnutné vyvíjať automobily, ktoré budú mať dlhodobejšiu perspektívu, čiže nižšiu spotrebu a emisie, či úplne iný než spaľovací pohon. V ďalších kapitolách prinesiem prehľad aktuálnych trendov vývoja alternatívnych palív pre spaľovacie motory a nových druhov pohonov pre automobily.

1 ALTERNATÍVNE PALIVÁ PRE SPALOVACIE MOTORY

1.1 PLYNY

Jednou z možností, ako aspoň čiastočne znížiť emisie a prevádzkové náklady áut, sú motory pracujúce na ropné plyny. Ich zásoba je síce tiež obmedzená, no väčšia ako v prípade ropy.

Vo svete je plynom poháňaných približne 15,2 milióna vozidiel. [38]

1.1.1 LPG – SKVAPALNENÝ ROPNÝ PLYN (LIQUIFIED PETROLEUM GAS)

LPG alebo skvapalnený propán-bután sa stal obľúbenou alternatívou pre zážihové motory. Práve tie sa dajú relatívne jednoducho prerobiť na pohon týmto palivom. Do auta sa umiestni druhá nádrž na plyn, ktorý vozidlo môže poháňať rovnako ako benzín. Vodič si môže voliť, na ktoré palivo bude jazdiť, a môže ich prepínať zo svojho miesta.

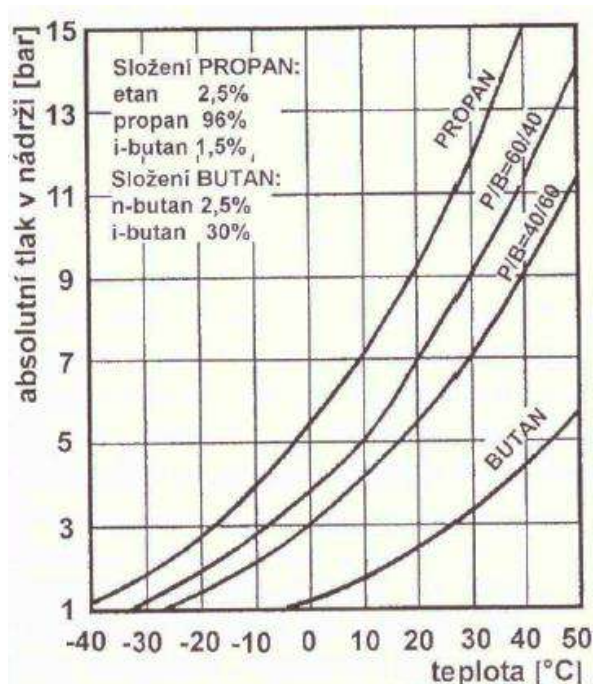
ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O LPG

LPG je ropný plyn vzniknutý rafináciou ropy. Je teda od nej závislý existenčne aj ekonomicky.

Ako názov napovedá, LPG je uskladnený v kvapalnom stave. Skvapalnenie sa robí stlačením pod tlakom okolo 1,5 MPa alebo ochladením. Dôvodom stlačovania je to, že ropný plyn stratí značnú časť svojho objemu, čím sa zníži jeho náročnosť na skladovacie priestory. [43] Z asi 250 l propán-butánu v plynnom stave sa získa 1 l kvapaliny. (Z 1 m³ plynu vzniknú 4 l kvapaliny.) [57] Tým sa ľahšie uskladní vo vozidle, kde na jeho uschovanie slúži stredotlakový zásobník. Do motora je, samozrejme, LPG privádzaný v plynnom stave. [43]

ZLOŽENIE A VLASTNOSTI LPG

Skvapalnený plyn, ktorý je predovšetkým zmesou propánu a butánu, obsahuje len veľmi málo síry, žiadne olovo a žiadne benzénové uhlíkovodíky. Zo zložiek, ktoré v LPG majú podstatný podiel, je najkvalitnejší propán C₃H₈. Jeho vlastnosti sú veľmi priaznivé z hľadiska zaistenia potrebného tlaku paliva v nádrži, ktorým je LPG dopravovaný z nádrže do palivového systému motora. Tlak v nádrži je určený tlakom nasýtených pár LPG a závisí iba od zloženia a teploty. Priebehy tlaku LPG v nádrži sú zakreslené na obr. 1.1. Na zaistenie dostatočného tlaku LPG v nádrži sa preto zloženie LPG môže meniť podľa ročného obdobia. [57]



Obr. 1.1 Závislost tlaku v nádrži od složení a teploty LPG [57]

Vlastnosti LPG a jeho hlavních složek v porovnání s benzínem Natural BA 95 N ukazuje tab. 1.1.

Tab. 1.1 Závislost tlaku v nádrži od složení a teploty LPG [57]

Palivo	Antidetonačná odolnosť – OČ motorová/ výskumná metóda		Hustota ρ_{pal} kvapalina plyn [kg.m ⁻³]	Výhrevnosť H_U [MJ/kg]	Podmienky skladovania	
					-10 °C °C [bar]	+30
BA 95 N	85	95	cca 760	46,50	1,00	
propán	97	111	510 1,96	46,30	3,50 11,0	
i-bután		99				
n-bután	92	96	580 2,59	47,70	0,75	3,0
LPG (P/B=60/40)	95	105	540 2,21	46,06	2,50 8,3	

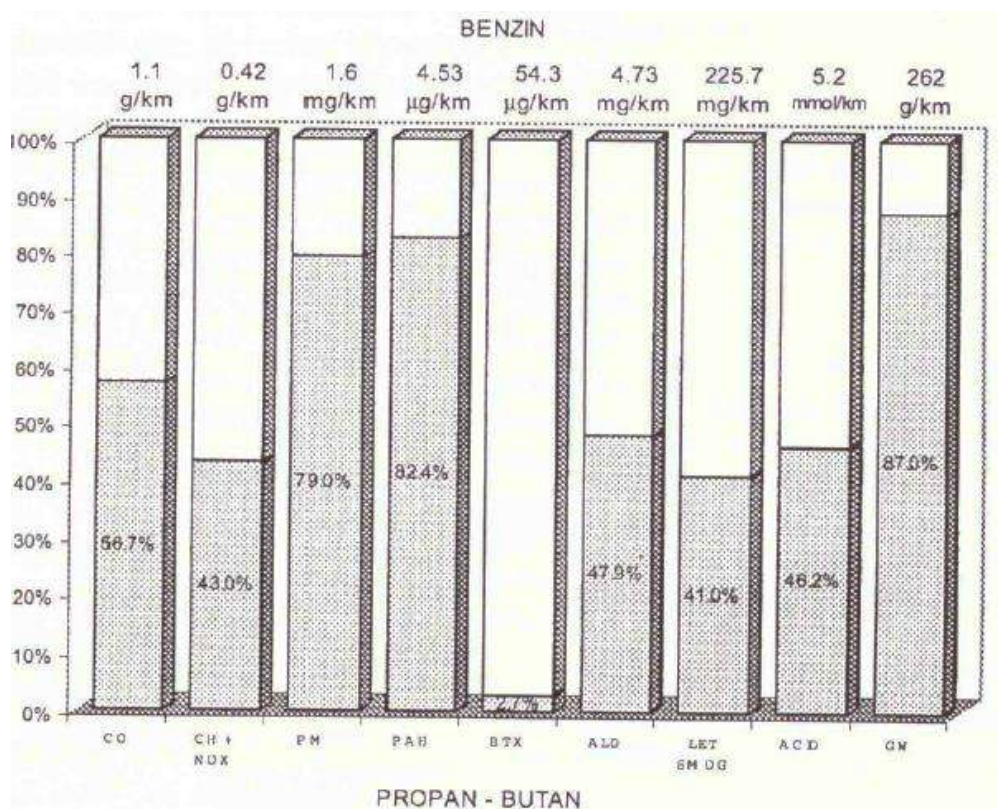
SPOTREBA A NÁKLADY LPG

Spotreba je približne o 20 % vyššia, ale napriek tomu sa prevádzka vypláca aj z ekonomického hľadiska. [57] Je to z toho dôvodu, že na rozdiel od benzínu nie je zaťažovaný vysokou daňou, preto je v porovnaní s ním jeho cena rádovo polovičná. [63] Práve cena prevádzky týchto vozidiel motivuje čoraz viac ľudí kupovať autá na LPG. Oblíbenou možnosťou je prestavba benzínového vozidla na LPG, ktorej vstupná investícia sa vráti relatívne skoro, a to v závislosti od frekvencie používania.

EMISIE LPG

Ďalšou priaznivou vlastnosťou LPG je menší hmotnostný podiel uhlíku v 1 kg paliva. V prípade LPG (60/40) je to 0,825 kg C. Benzín či nafta majú v 1 kg cca 0,86 – 0,87 kg C. Táto skutočnosť vedie v optimalizovanom vyhotovení plynového zážihového motora k nižšej produkcii CO. [57] Tento fakt sa snažia čoraz viac využívať mestá plynifikáciou autobusov MHD, ale aj komunálnych a iných úžitkových vozidiel určených na mestskú prevádzku. Pri spaľovaní LPG vzniká asi o 20 % menej CO₂ ako pri spaľovaní benzínu. [20]

Oproti vozidlám s naftovým motorom plynifikované vozidlá majú nižšie emisie NO_x, CO, častíc, aldehydov a polycyklických uhľovodíkov. Oproti naftovému motoru plynové motory majú cca 10-krát nižšie emisie škodlivých častíc. Výrazný rozdiel je potom aj v emisiách najškodlivejších organických zložiek, pri plynových motoroch sú emisie polycyklických aromatických uhľovodíkov (hygienicky najrizikovejších emisií) rovnako cca 10-krát nižšie než pri naftovom motore. [57] Každé vozidlo jazdiace na plyn môže pri najazdení 35 000 km ročne ušetriť až 1,19 tony emisií skleníkového CO₂. Autá na plyn produkujú až o 80 % menej smogu. [30]



Obr. 1.2 Porovnanie emisných vlastností osobného automobilu na benzín, resp. na LPG [57]

BEZPEČNOSŤ LPG

Nádrž umiestnená v aute obsahuje bezpečnostné prvky, vďaka ktorým je riziko prípadného výbuchu naozaj minimálne. Serióznym dôkazom bezpečnosti automobilov s plynovým rozvodom sú štatistiky nehodovosti, ktoré vysokú bezpečnosť áut na plyn každoročne potvrdzujú. [3]

V porovnaní s bežnou benzínovou nádržou vyrobenou z tenkostenného plechu, prípadne plastu, je tlaková nádrž vyhotovená z cca 3,5 mm hrubého plechu. Zvyčajne je zabudovaná v batožinovom priestore. Benzínová nádrž je vo väčšine vozidiel umiestnená na boku vozidla, kde sa môže ľahko poškodiť (napr. bočný náraz do vozidla a následné vytekanie benzínu). V týchto situáciách stačí už len iskra z poškodeného elektrického vedenia, ktorá zapríčini požiar vozidla.

Plynová nádrž obsahuje bezpečnostný ventil, ktorý zaisťuje bezpečnosť vozidla pri poškodení LPG sústavy. V prípade akéhokoľvek poškodenia plynového potrubia sa tento ventil okamžite uzavrie a obmedzí unikanie plynu.

Praktické skúšky vykonané expertmi z ADAC s vozidlom Opel Zafira preukázali, že auto s plynovým pohonom je rovnako bezpečné ako naftové auto rovnakej značky. Pri nárazových testoch pri rýchlosti 64 km/h zostal plynový systém nepoškodený. Bez poškodenia zostal aj potrubný systém v priamej oblasti nárazu. Všetky potrubia sú flexibilne konštruované tak, že sa pri kolízii nezlomia, ale podľa potreby ohnú. Kontrola tesnosti systému preukázala, že po čelnom náraze zostal potrubný systém dostatočne tesný. [37]

Pri vjazde do opravovní a pri opravách vozidla vôbec (zváranie, brúsenie a ďalšie činnosti, pri ktorých môže vzniknúť iskra) musia byť dodržané určité bezpečnostné podmienky. Aj pri bežných opravách prácu musí vykonávať automechanik vyškolený na opravy automobilov s namontovaným zariadením pre alternatívny pohon plynom. [57]

PRESTAVBA BENZÍNOVÉHO POHONU NA LPG

Prestavbu je možné realizovať v rôznych špecializovaných servisoch. Tie pre zákazníka často vybavujú aj potrebné doplnenie zápisu o prestavbe vozidla na pohon LPG. Cena prestavby sa líši. Závisí hlavne od druhu motora. S rastúcim počtom valcov stúpa aj cena prestavby. [7]

POSTUP PRESTAVBY NA LPG

V prvom kroku sa inštalujú vstrekovacie dýzy. Prostredníctvom týchto dýz je plyn dávkaný do nasávacieho potrubia a následne privádzaný do motora. Vstrekovacie plynu LPG sú hadičkami napojené na vstrekovacie dýzy. Čas ich otvorenia a tým aj veľkosť dávky paliva riadi riadiaca jednotka LPG v závislosti od zaťaženia motora.

V ďalšom kroku nasleduje inštalácia reduktora a bezpečnostného ventilu plynu LPG. Reduktor po ohriatí na príslušnú teplotu (cca 40 °C) premieňa kvapalnú fázu LPG na plynnú fázu, ktorá je prostredníctvom vstrekováčov dávkaná do motora. Medzi reduktorom a vstrekovacími je umiestnený tzv. filter kvapalnej fázy, ktorý je medzi nádržou a reduktorom (väčšinou sa nachádza pri reduktore spolu s elektromagnetickým ventilom). Odporúčený interval na výmenu tohto filtra je 40 000 km. Po montáži rúrok a hadíc na prívod LPG nasleduje inštalácia elektrických zariadení.

LPG riadiaca jednotka sa vo väčšine prípadov pripevňuje čo najbližšie k batérii, pretože je z nej napájaná. Jednotka riadi všetky operácie vykonávané LPG sústavou. Prepínač sa inštaluje po dohode so zákazníkom na miesto, kde je z hľadiska konštrukcie vozidla montáž možná (obvykle k riadiacej páke alebo na palubnú dosku v blízkosti volantu).

V zadnej časti sa nainštaluje LPG nádrž (toroidná – namiesto rezervného kolesa, resp. valcová – väčšinou pri požiadavke na väčšiu kapacitu nádrže) a multiventil. Ten má niekoľko funkcií. Umožňuje plnenie nádrže, prostredníctvom plaváka sníma úroveň hladiny LPG v nádrži a po otvorení elektroventilu distribuuje plyn do motorovej časti.

Plniace hrdlo možno namontovať dvoma spôsobmi. Na nárazník, čo je využívané najčastejšie, alebo pod viečko, kde to umožňuje technické vyhotovenie vozidla. [44]

VÝHODY LPG

Medzi hlavné výhody bezpochyby patrí už spomenutá približne polovičná cena oproti benzínu, ktorá aj napriek miernemu zvýšeniu spotreby zníži náklady na prevádzku.

Návratnosť pri prestavbe benzínového vozidla na LPG je v tab. 1.2: spotreba 7,5 l, benzín 95 1,3 €, cena LPG 0,6 €, prestavba za 900 €, vo vzťahu bolo použité zvýšenie spotreby pri LPG o 10 %.

Tab. 1.2 Návratnosť pri prestavbe benzínového osobného automobilu na LPG [39]

Najazdené (tis. km/ rok)	Náklady na benzín (SR) [€]	Náklady na LPG (SR)	Úspora pri prevádzke na LPG (SR)	Návratnosť prestavby na LPG (roky)	Ušetrené za 5 rokov prevádzky (SR) [€]
10	975	495	480	1,9	1 500
15	1 463	743	720	1,3	2 700
20	1 950	990	960	0,9	3 900
25	2 438	1 238	1 200	0,8	5 100
30	2 925	1 485	1 440	0,6	6 300
50	4 875	2 250	2 625	0,3	13 124

Z tabuľky vidíme, že bežnému človeku, ktorý najazdí do 20 000 km ročne, sa náklady na prestavbu vrátia približne po jednom roku.

Vďaka výbornému zmiešavaniu plynu so vzduchom nastáva úplné a úsporné spaľovanie bez dymu, pachu a sadzí. Na sviečkach, piestoch a ventiloch sa neusadzuje karbón. Vyššie oktanové číslo (*) v porovnaní s benzínom má za následok nižšiu hlučnosť a pokojnejší chod motora. [63]

Nemožno opomenúť fakt, že v dnešnej dobe poskytuje možnosť tankovania LPG veľa čerpacích staníc. V EÚ je ich viac ako 26 000. [30] Navyše v prípade vyčerpania LPG je možné auto prepnúť na režim jazdy na benzín, čím sa jeho akčný rádius značne zvýši.

Výhodou LPG je aj predĺženie životnosti motorového oleja. [20]

(*) Oktanové číslo (OČ, ON). Komerčné zmesi palív sú hodnotené škálou oktanového čísla medzi 0 a 100. Oktanové číslo je založené na dvoch uhľovodíkoch, ktoré majú veľmi rozdielne detonačné vlastnosti umožňujúce definovanie hraníc škály. Izooktán (C_8H_{18}), ktorý má veľmi vysokú odolnosť voči detonácii, dostal oktanové číslo 100 a n-heptán (C_7H_{16}), ktorý veľmi podlieha detonácii, dostal oktanové číslo 0. Zmesi týchto referenčných palív sú definované oktanovým číslom v tomto rozmedzí. Napríklad zmes 7 % n-heptánu a 93 % izooktánu v objeme má oktanové číslo 93. [18] Ak je palivo odolnejšie proti samovznieteniu ako čistý izooktán, bude mať oktanové číslo vyššie ako 100. [26]

NEVÝHODY LPG

Ropný plyn LPG je ťažší než vzduch, čiže sa drží pri zemi, v montážnych jamách a rôznych priehlbínach. LPG sa aj veľmi zle odvetráva. V priestore, ktorý je ním zamorený, hrozí udusenie. Technicky vzaté, LPG nie je jedovatý, vo vyšších koncentráciách je však mierne narkotický.

Z týchto dôvodov vozidlo s pohonom na LPG môže byť garážované iba v garáži bez montážnej jamy. Garáž musí byť vybavená aspoň dvoma vetracími otvormi, pričom jeden by

mal byť v najnižšom mieste garáže. Okrem špeciálne upravených garáží sa s takýmto vozidlom všeobecne nesmie parkovať v podzemí. [3]

Medzi nevýhody spojené s prestavbou benzínového pohonu na LPG je možné zaradiť celkové zvýšenie hmotnosti vozidla z dôvodu inštalácie prídavnej nádrže. Tá sa montuje do batožinového priestoru, čo má za následok značné zníženie jeho objemu a s tým spojené obmedzenie komfortu pri cestovaní.

Ďalšou z nevýhod je mierne zníženie výkonu motora a vyššie spomenutý nárast spotreby paliva, ktorý sa však ekonomicky vykompenzuje nižšou cenou danej pohonnej hmoty. Aj samotná prestavba predstavuje relatívne vysokú vstupnú investíciu, ale, ako bolo vyššie uvedené, jej návratnosť je relatívne rýchla. S prestavbou je spojené obmedzenie v podobe nutnosti revízie plynového zariadenia 1-krát ročne. [28] Táto prehliadka sa musí robiť na niektorej zo staníc schválených na meranie emisií vozidiel s pohonom na LPG alebo v montážnej organizácii, ktorá je vybavená príslušným servisným a diagnostickým zariadením (detektormi na únik LPG, analyzátormi a testermi nutnými na nastavenie motorov). [57]

Propán-bután, čiže LPG, narušuje prírodnú gumu, preto všetky tesnenia v motore musia byť vyrobené zo syntetických (umelých) látok. [20]

1.1.2 CNG – STLAČENÝ ZEMNÝ PLYN (COMPRESSED NATURAL GAS)

Ďalšiu alternatívu na pohon spaľovacích motorov či na možnosť ich prestavby predstavuje stlačený zemný plyn CNG. Podobne ako pri pohone na LPG sa do auta umiestni druhá tlaková nádrž, ktorá je plnená plynom pod vysokým tlakom.

Na CNG sa najčastejšie prerábajú autobusy, pretože pri svojej neustálej prevádzke naozaj dokážu ušetriť financie za palivové náklady. CNG sa dopĺňa na špeciálnych čerpacích staniciach. [42]

Podobne ako v prípade ropy či LPG nejde o obnoviteľný zdroj, ale zásoby plynu oproti rope sú približne dvojnásobné. [47]

ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O CNG

Z názvu CNG vyplýva, že ide o stlačený zemný plyn.

CNG sa vyrába stlačením zemného plynu na menej ako 1 % jeho objemu pri štandardnom atmosférickom tlaku (101 325 Pa). Z dôvodu poskytnutia adekvátneho akčného rádiusu býva CNG vo vozidle skladované vo vysokotlakových zásobníkoch. [38] Plyn je v týchto nádržiach stlačený na tlak 20 – 30 MPa. Vozidlo si medzi oboma palivami automaticky prepína a ich dojazdy sa sčítajú. [47]

ZLOŽENIE A VLASTNOSTI CNG

Zemný plyn pozostáva asi z 85 % metánu (CH_4 – jednoduchý uhl'ovodík bez farby a zápachu, horľavý, so vzduchom výbušný plyn), z 10 % dusíka a oxidu uhličitého a z 5 % vyšších uhl'ovodíkov. Ekologické výhody vyplývajú predovšetkým z chemického zloženia zemného plynu. To je väčšinovo zastúpené najjednoduchším uhl'ovodíkom – metánom. Vozidlá na zemný plyn produkujú výrazne menej škodlivín ako tie s klasickým palivom. Rovnako vplyv na skleníkový efekt pri plynových motoroch je menší v porovnaní s benzínom či naftou. [57]

Podľa kvality zemný plyn delíme do dvoch kategórií. High (87 – 99 % metánu) a Low (80 – 87 % metánu). Čím väčší je pomer metánu, tým vyššia je energetická účinnosť spaľovania. [47]

Prevádzka motora na CNG znižuje jeho výkon. Na ideálne spaľovanie totiž potrebuje viac vzduchu. Toto potrebné množstvo najlepšie možno získať preplňovaním. Preto pri preplňovaných jednotkách možno ľahko dosiahnuť rovnaký výkon ako pri použití benzínu.

Napriek tomu býva výkonový rozdiel značný. Pri atmosférických motoroch klesne výkon minimálne o 10 %. Aby k takému poklesu nedošlo, motor dostáva upravený software a väčší kompresný pomer. [47]

Porovnanie niektorých vlastností môžeme vidieť v tab. 1.3.

Tab. 1.3 Vlastnosti pohonných hmôt [8]

Palivo	Oktánové číslo	Hustota pri 15 °C [kg/m ³]	Minimálna výhrevnosť kvapalnej, resp. plynnej fázy [MJ/kg] [MJ/m ³]
Benzín	91 – 98	720 – 775	43,5
Nafta	-	800 - 845	41,8
LPG	100 – 110	502 – 579	46,5 94
Zemný plyn	128	0,678	34

SPOTREBA A NÁKLADY CNG

Keďže CNG je plyn, spotreba sa najčastejšie uvádza v kilogramoch na 100 najazdených kilometrov. V 1 kg zemného plynu je toľko energie, koľko zodpovedá napr. 1,5 l benzínu alebo cca 1,3 l nafty. [47] Spotrebe automobilu uvádzanej v l pre CNG zodpovedá ekvivalent v m³. Vďaka absencii spotrebnej dane ide prakticky o najlacnejšie palivo predávané v ČR. [41] Pri podobných modeloch poháňaných na plyn a benzín dosiahneme rovnakú spotrebu, no miníme menej pri tankovaní paliva. Nie je ani potrebné meniť motorový olej tak často, a to z dôvodu čistejšieho spaľovania paliva. [10]

Motorová nafta má podiel H : C dva ku jednej, zatiaľ čo zemný plyn až štyri ku jednej. Z tohto hľadiska plyné palivá môžeme považovať za relatívne čisté. Musíme si však uvedomiť, že spaľovaním palív s obsahom C nie je možné získať nič menej škodlivé ako CO₂. Teoreticky najčistejším palivom, produkujúcim iba vodnú paru, je vodík. Zatiaľ však bežne ako najmenej škodlivé palivo máme k dispozícii zemný plyn. [40]

EMISIE CNG

Pri spracovaní zemného plynu je odstraňovaná síra a dusík. V porovnaní s benzínom zemný plyn má o štvrtinu menej uhlíka. Z týchto dôvodov je možné považovať ho v porovnaní s nimi za ekologické palivo, ktoré znižuje hladinu škodlivín CO₂ a NO_x o 25 % a CO až o 50 %. [47] Produkcia CO₂ pri vozidle na zemný plyn je o viac než 20 % menšia než pri porovnateľnom na benzín. [57] Vozidlá jazdiace na plyn emitujú približne o 6 – 11 % menej skleníkových plynov ako benzínové za životný cyklus paliva. Emisie skleníkových plynov životného cyklu CNG sú predovšetkým výsledkom unikania paliva vo výrobnéj fáze. [38]

BEZPEČNOSŤ CNG

Zemný plyn oproti benzínu, nafte či LPG je ľahší ako vzduch. Jeho zápalná teplota je oproti benzínu dvojnásobná. Tlakové nádrže vyrobené z ocele, hliníka či kompozitov sú bezpečnejšie ako benzínové nádrže. [57] Plyn je v tlakových nádobách uskladňovaný pod tlakom 200 barov. Ešte pred namontovaním do vozidla je každý zásobník vyskúšaný na tlak 300 barov, proti roztrhnutiu je odolný až do tlaku 450 – 500 barov. Každý zásobník má

vlastný elektronicky kontrolovaný ventil, ktorý zabezpečuje dodávku zemného plynu do motora iba v čase jeho chodu. Špeciálne mechanické ventily prerušia dodávku paliva do motora v prípade zníženia tlaku v prívode plynu, napr. z dôvodu nehody. Pre prípad požiaru sú zásobníky plynu vybavené ochrannou poistkou, ktorá zaručí riadené „odfúknutie“ expandujúceho plynu v okamihu, keď teplota presiahne hranicu 110 °C, a to napriek tomu, že zemný plyn má teplotu vznietenia 537 °C. [8]



Obr. 1.3 Bezpečnostný ventil nádrže [56]

PRESTAVBA NA CNG

Postup prestavby automobilu na pohon CNG je obdobný ako pri prestavbe na LPG, čo už je bližšie opísané v kapitole **Prestavba na LPG**.

VÝHODY CNG

Ide o ekologickejšie palivo ako benzín či nafta, ktoré je navyše lacnejšie. Horí totiž najčistejšie zo všetkých uhľovodíkových palív. [47] To spôsobuje už vyššie spomenutý najvyšší pomer H : C.

Zemný plyn je prepravovaný už vybudovanými plynovodmi a jeho používaním sa znižuje počet nákladných cisterien s kvapalnými palivami. Oproti produktom z ropy má väčšiu perspektívu aj vzhľadom na jeho väčšie zásoby. [57]

Na CNG je možné prerobiť ako benzínový, tak aj naftový motor.

Výhody tohto paliva využívajú najmä autobusy, ktoré pri svojej neustálej prevádzke značne šetria životné prostredie a ušetria aj nemalé finančné náklady. [42] Porovnanie emisií autobusu na zemný plyn a klasického autobusu na naftu môžeme vidieť v tab. 1.4.

Tab. 1.4 Porovnanie emisií autobusu na zemný plyn a klasického autobusu na naftu. [57]

	NO _x	CO	NMHC	CH ₄
[g.kW.h ⁻¹]				
Autobus na naftu	13,4	4,6	5,9	-
Autobus na zemný plyn	2,9	0,3	0,03	2,7

Porovnanie CNG a nafty pre autobus s dojazdom 500 km na jedno natankovanie paliva vidíme v tab. 1.5.

Tab. 1.5 Porovnanie CNG a nafty pre autobus s dojazdom 500 km na jedno natankovanie paliva [57]

	Nafta	CNG
Hustota paliva [kg.m^{-3}]	830	140
Výhrevnosť [MJ.kg^{-1}]	42,5	47,7
Pretlak v nádrži [MPa]	0	20
Objem nádrže [l]	200	1270
Zvýšenie hmotnosti [kg]	-	1000

Zemný plyn je ľahší než vzduch. [8] Na rozdiel od pohonu LPG tieto autá môžu parkovať v podzemných parkoviskách.

Rozhodujúcou zložkou zemného plynu je metán, ktorého obsahuje viac ako 98 %. Ten je za normálnych teplôt plyný. Rovnako teploty, pri ktorých sa skvapalňujú ostatné zložky zemného plynu, sú hlboko pod bodom mrazu. Takže ani pri extrémne nízkych teplotách nehrozí zamrznutie palivového systému ako v prípade nafty. [57]

Nevýhoda tohto pohonu v podobe relatívne malej siete verejných čerpacích staníc sa postupne znižuje s ich rastúcim počtom. [47] Túto nevýhodu je možné zmierniť aj zaobstaraním si domácej plničky CNG. Jej nadobúdacia cena je síce vyššia, no jej používaním sa náklady na prevádzku ešte viac znižia.

MALÉ PLNIAČE STANICE CNG

Malé plniace stanice alebo plničky na zemný plyn, alebo domáce plničky CNG sú určené prevažne pre domácnosti alebo malé firmy s menším počtom vozidiel, kde sa nekladie dôraz na rýchlosť plnenia. [33] Obsluha je veľmi jednoduchá a úplne automatizovaná. Plniaca koncovka sa pripája k plnaciemu hrdlu vozidla a po naplnení nádrže je proces automaticky ukončený. Zariadenia sú štandardne vybavené špeciálnymi snímačmi sledujúcimi prípadný únik plynu a ďalšími bezpečnostnými prvkami. Tieto zariadenia je možné využiť všade tam, kde ich možno pripojiť na rozvod zemného plynu, a to podobne ako plynový sporák alebo iný plynový spotrebič. [60] Príklad, akovyzerá malá domáca plnička, vidíme na obr. 1.4.



Obr. 1.4 Malá domáca plnička COLTRI MCH10 [33]

NEVÝHODY CNG

V prípade prestavby na CNG medzi nevýhody podobne ako pri LPG patrí zmenšenie batožinového priestoru. Táto nevýhoda sa týka prestavaných áut. Pri originálnych automobiloch sa konštruktéri tlakovú nádrž snažia umiestniť napríklad namiesto rezervného kolesa. Vyššia hmotnosť tejto nádrže negatívne ovplyvňuje jazdné vlastnosti vozidla. Tlaková nádrž na CNG musí odolávať značne väčšiemu tlaku ako nádrž na LPG. [42] Vstupná investícia v podobe prestavby na CNG je opäť vyššia ako v prípade LPG. Pokles výkonu vozidla pri prestavbe na CNG je o niečo väčší ako pri prestavbe na LPG. Rovnako ako v prípade ropného plynu sú potrebné pravidelné prehliadky. [42] Asi za najväčšiu nevýhodu tohtopaliva môžeme považovať malý počet plniacich staníc. [57] V prípade rozšírenia používania tohto paliva môžeme predpokladať, že tento problém by sa časom zmierňoval.

1.2 BIOPALIVÁ

Už od sedemdesiatych rokov minulého storočia sa skúmala možnosť využitia repkového oleja pre pohon vznetových motorov. Ukázalo sa, že pohon na repkový olej v prípade bežných naftových motorov nie je možný. Neskôr sa začala rozvíjať alternatíva, ktorou je chemicky vhodne upravené palivo na báze rastlinných olejov. Úprava fyzikálno-chemických vlastností všeobecne spočíva v premene vhodného rastlinného oleja na metylester mastných kyselín obsiahnutých v oleji. Zmyslom chemickej premeny na metylestery je priblížiť výsledné vlastnosti tohto paliva parametrom klasickej motorovej nafty. [57]

1.2.1 RASTLINNÉ OLEJE

Olej je možné získať z viac ako 300 druhov rastlín. Medzi ne patrí napr. repka olejná, slnečnica, oliva, sója, kokosový orech a iné. Olej sa v nich ukladá v semenách alebo v plodoch. Rastlinný olej sa získava lisovaním semien týchto olejní. [57] Čistý rastlinný olej možno použiť v dieselových motoroch aj priamo bez úpravy. Problémom však bývajú jeho zlé vlastnosti, ako sú vysoká viskozita, zlá stabilita a nízke cetánové číslo (*). Preto sa olej na pohon v motoroch upravuje na bionaftu. [4] Porovnanie fyzikálnych vlastností jednotlivých rastlinných olejov s motorovou naftou môžeme vidieť v tab. 1.6.

Tab. 1.6 Fyzikálne vlastnosti rastlinných olejov s motorovou naftou. [57]

Parameter	Repkový olej	Slnečnicový olej	Ľanový olej	Sójový olej	Podzemnicový olej	Motorová nafta
Merná hmotnosť [g.cm ⁻³]	0,920	0,927	0,935	0,934	0,925	0,855
Bod vzplanutia [°C]	317	316		330	333	>55
Bod tuhnutia (zákalu) [°C]	0 až -2	-16 až -18	-18 až -27	-8 až -18	-2 až -3	0 až -2
Kinematická viskozita (20°C) [mm ² .s ⁻¹]	97,7	65,8	51	63,5	84,3	3 až 8
Spaľovacie teplo [MJ.kg ⁻¹]	40,56	39,81	39,51	39,73	39,99	45,02

(*) Cetánové číslo (CČ, CN). Cetánové číslo dieselových palív predstavuje mieru kvality vznietenia. Keď je palivo vstreknuté priamo do horúceho stlačeného vzduchu vo valci, musí byť najprv zvýšené na teplotu dosť vysokú na vznietenie palivovej zmesi. To vyžaduje istý čas, známy ako prieťah vznietenia. Rôzne druhy palív majú rôzne časové omeškanie medzi začiatkom vstrekovania paliva a začiatkom vznietenia. Ľahkosť, s ktorou sa dieselové palivá vznietia v podmienkach časového intervalu medzi vstreknutím a vznietením, sa nazýva kvalita vznietenia. Palivo s veľmi krátkym omeškaním má dobrú (vysokú) kvalitu vznietenia a, naopak, palivo s predĺženým meškaním má zlú (nízku) kvalitu vznietenia. [18]

Spaľovacie teplo je nižšie, ale porovnateľné s naftou. Ďalšie parametre, ako viskozita či bod vzplanutia, ukazujú, že priame použitie v bežnom naftovom motore nie je možné. [57]

1.2.2 BIONAFTA

Bionafta je na trhu známa ako zmesná nafta, kde podiel metylesteru repkového oleja predstavuje asi 31 %, zvyšok tvorí klasická motorová nafta. [57]

ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI BIONAFTY

Bionafta sa používa ako náhrada za ropné palivá pre vznetové (dieselové) motory. Výrazom bionafta sú označované nízkomolekulárne estery vyšších mastných kyselín s nízkomolekulárnym alkoholom. Výroba bionafty je v podstate bezodpadová technológia, pretože všetky vedľajšie produkty sa dajú ďalej využiť. Surovinou na výrobu bionafty sú olejnaté plodiny, ktoré sú obnoviteľným zdrojom. V svetovej produkcii prevláda olej zo sóje (USA), palmový olej, olej zo slnečnice, repky atď. [53]

VÝHODY BIONAFTY

Bionafta znižuje výfukové emisie o viac ako 50 %, znižuje emisie hydrokarbónov a je CO₂ neutrálna. [5] Všetok uhlík obsiahnutý v biomase bol do nej viazaný fotosynteticky pri raste rastlín. Navyše bionaftu možno vyrábať z vlastných štátnych zdrojov pestovaním olejní, a tak znížiť závislosť od importu ropy. [53] V závislosti od environmentálnych predností je bezpečné a jednoduché miešať ju s fosílnou naftou. [5] Ďalšou dôležitou výhodou je jej obnoviteľnosť a vynikajúca biologická odbúrateľnosť (za 28 dní je degradovaných 95 % bionafty oproti 40 % ropnej nafty).

Má aj vysokú mazaciu schopnosť, je masťnejšia ako motorová nafta a jej prídavok do nej znižuje opotrebovanie motora. [53]

NEVÝHODY BIONAFTY

Veľkou nevýhodou sa ukazuje ekonomická náročnosť výrobného procesu. Ďalšiu nevýhodu predstavuje fakt, že pri kontakte s väčším množstvom vody z bionafty vznikajú mastné kyseliny, ktoré môžu spôsobiť koróziu palivového systému. Bionafta má aj schopnosť uvoľňovať organické usadeniny z palivového systému, ktorými sa zanáša palivový filter. [53] Zmesná bionafta poškodzuje gumové súčiastky palivového systému, ktoré pri jej použití musia byť nahradené dielmi z plastických hmôt. Typická je značná tvorba usadenín na stenách spaľovacieho priestoru a v medzikruhovných medzerách, ako aj v drážkach pre piestne krúžky. V dôsledku nižšej výhrevnosti v porovnaní s motorovou naftou dochádza k zvýšeniu spotreby. [57]

1.2.3 ALKOHOLY

ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI ALKOHOLOV

Alkoholy majú isté výhody ako palivá, a to zvlášť v krajinách bez zdrojov ropy, respektíve tam, kde sú obnoviteľné zdroje na produkciu obnoviteľných surovín na výrobu metanolu (CH_3OH) alebo etanolu ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). [55] Biomasa bola zdrojom energie ešte skôr, ako sa začal používať benzín. Výroba alkoholov (metanolu a etanolu) pre technické účely z biomasy je známa omnoho dlhšie. Už od tridsiatych rokov minulého storočia sa alkohol používal ako motorové palivo. [57]

Výrobcovia automobilov majú rozsiahle programy na vývoj automobilov na alkoholy. Alkoholy sa môžu miešať aj s ropnými palivami, čo zvyšuje ich oktanové číslo. Oba alkoholy majú vysoké oktanové číslo (etanol až 106) a vysokú entalpiu vyparovania. To zvyšuje volumetrickú účinnosť, ale môže spôsobovať problémy so štartovaním. V chladných podmienkach môže byť nevyhnutné štartovať motor s použitím benzínu. Ďalšou nevýhodou sú nízke výhrevnosti (asi polovičná hodnota v porovnaní s benzínom pre metanol a dve tretiny pre etanol) a zmiešateľnosť s vodou. [55]

Niektoré vlastnosti alkoholov v porovnaní s benzínom môžeme vidieť v tab. 1.7.

Tab. 1.7 Vlastnosti alkoholov v porovnaní s benzínom. [55]

Palivo	Stochiometrický pomer vzduch/palivo (*)	Výhrevnosť paliva [MJ/kg]	Výhrevnosť zmesi [MJ/kg]
Metanol	6.5	20.0	2.68
Etanol	9.0	26.9	2.69
Benzín	14.5	42.0	2.71

(*) Stochiometrické spaľovanie – je také spaľovanie, kde sa všetok kyslík spotrebuje na zhorenie všetkého paliva. Je to najoptimálnejšie spaľovanie. Väčšina výrobcov však necháva rezervu a motory nastavuje na väčší pomer. Zvyšovanie podielu vzduchu znamená ochudobňovanie zmesi. To zaznamená lambda sonda, ktorá v prípade benzínového motora upraví zmes na stochiometrickú hodnotu buď redukciou vzduchu, alebo pridaním paliva. Pri dieselových motoroch iba kontroluje predpokladanú hodnotu. [54]

ETANOL E85

Etanol, teda biolieh, nazývaný aj bioetanol, je zmes tvorená 85 % etanolu a 15 % benzínu natural 95. Tento pomer sa v priebehu ročných období mení, minimálny podiel etanolu však musí byť aspoň 70 %. [59] Etanol je vysoko hodnotné ekologické palivo pre spaľovacie motory. Má antidetonačné vlastnosti. Jeho nedostatkom je schopnosť viazať vodu a spôsobovať koróziu motora, čo možno odstrániť pridaním aditív (antikorózných prípravkov). [57] Etanol sa dá vyrobiť z každej plodiny, ktorá obsahuje sacharidy, teda od trávy cez zemiaky až po cukrovú repu. [59]

VÝHODY ETANOLU

Jednou z hlavných výhod je nižšia cena ako cena benzínu a pomerne jednoduchá úprava vozidla na jeho používanie, ktorá je finančne relatívne nenáročná (rádovo tisíce Kč). Stačí inštalácia špeciálnej jednotky. [41] Tá sa stará o správne načasovanie vstrekovania, ktorým sa dá dosiahnuť navýšenie výkonu a korekcia spotreby etanolu. [25] Prevádzka vozidla je bez

zmien a je ekologickejšia. Etanol E85 má čistiace vlastnosti, čiže prečisťuje vstrekovacie dýzy. Pri jeho spaľovaní nevznikajú karbónové usadeniny, ktoré vo valci môžu predčasne zapáliť zmes. Etanol E85 horí za nižších teplôt ako benzín, čo má za následok menšie opotrebovanie piestnych krúžkov.

Veľkou prednosťou E85 je zvýšenie výkonu motora, a to napriek tomu, že má nižšiu výhrevnosť. Etanol obsahuje 30 % kyslíka, zatiaľ čo benzín iba 4 %, preto sa do valca po pridaní prestavbovej jednotky vojde viac etanolu, ktorý môže horieť s kyslíkom z atmosféry a etanolu dohromady. Dochádza teda k efektívnejšiemu horeniu, čo má za následok zvýšenie výkonu a zlepšenie emisií až o 70 %. Pri odparovaní má 4-krát väčšie ochladenie oproti benzínu, čiže pri vstreknutí do valca 4-krát viac ochladí priestor valca aj vzduch v ňom, ten sa viac zmrstí a do valca vojde viac vzduchu, a teda aj viac kyslíka, s ktorým etanol môže horieť. Keďže 1 l etanolu je ťažší ako 1 l benzínu, v jednom vstreku sa do valca dostane viac hmoty ako pri rovnako dlhom vstreku benzínu. [59]

V porovnaní s prestavbou vozidla na plyný pohón táto alternatíva nevyžaduje žiadne ďalšie nádrže a systémy, ktorých dôsledkom je zvýšenie hmotnosti vozidla a zhoršenie jeho dynamických vlastností.

NEVÝHODY ETANOLU

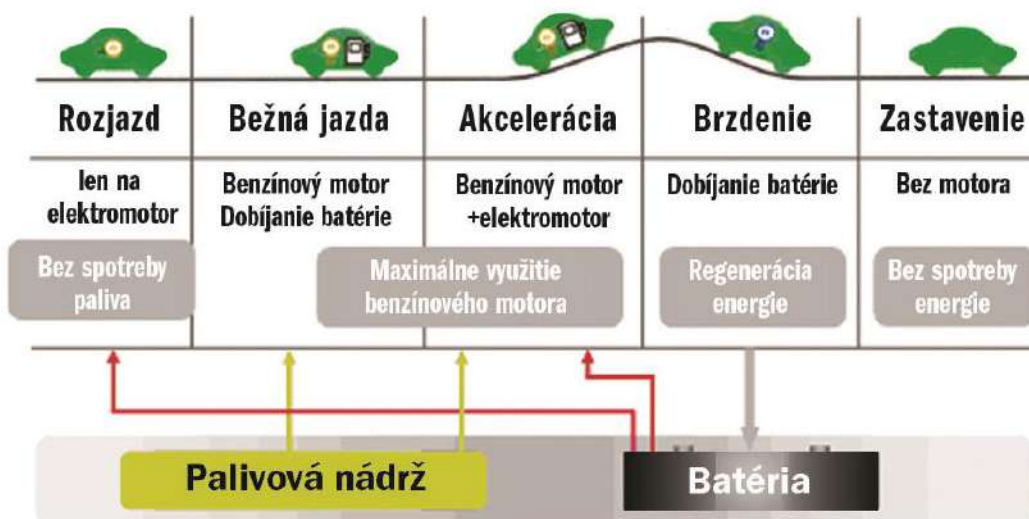
Pri prevádzke na etanol E85 dochádza k nárastu spotreby. Tá je spôsobená najmä menšou výhrevnosťou v porovnaní s benzínom. Aby auto malo rovnaký výkon, treba tento deficit dohnať použitím bohatšej zmesi a predĺžením času vstrekovania, o čo sa stará prestavbová jednotka. Výsledkom je vyššia spotreba v porovnaní s benzínom natural 95 o 10 – 25 % a zhoršené štartovanie vo veľmi nízkych teplotách. Cena etanolu je síce nižšia než cena benzínu, ale nie tak výrazne ako v prípade plynov. Z toho dôvodu je úspornosť tohto pohonu nižšia, niekedy sa dokonca ani nemusí vyplatiť.

Problém pri masovejšom používaní by predstavovalo pestovanie plodín, z ktorých sa vyrába alkohol. [13] Na pestovanie týchto plodín by totiž bolo treba vyhradiť rozsiahle plochy, ktoré môžu byť využité na pestovanie poľnohospodárskych plodín. Tento problém by však čiastočne mohlo riešiť pestovanie rastlín výhodných na tento účel. Množstvo biomasy, ktoré každý rok vyrastie, by umožnilo vyrobiť viac etanolu. Napríklad pri ozdobnici to môže byť až dvaapokrát viac ako pri rovnakej výmere kukurice. [34]

2 HYBRIDNÉ VOZIDLÁ

2.1 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O HYBRIDNÝCH VOZIDLÁCH

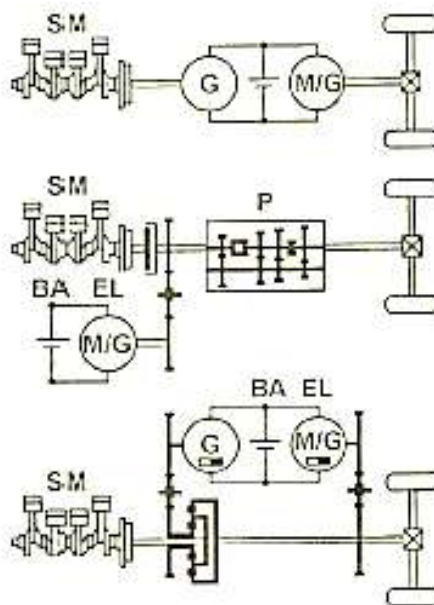
Hybridné elektrické vozidlá (HEV) používajú spaľovací motor a aspoň jeden elektromotor na pohon. Existujú tri základné ciele sledované hybridnými vozidlami: redukcia spotreby paliva, a teda aj emisií CO₂, redukcia výfukových emisií, zvýšenie výkonu a točivého momentu. [45] Hybridný pohon môže byť paralelný, sériový alebo kombinovaný. Výhodou je rekuperácia elektrickej energie do akumulátora pri decelerácii, nevýhodou je priestorová náročnosť a obmedzená užitočná hmotnosť. V prípade elektropohonu ku kvalite životného prostredia prispieva aj nízka hlučnosť. Hybridné vozidlá kombinujú výhody benzínových a elektrických motorov. Môžu byť konštruované na rozličné ciele, napríklad na dosiahnutie nižšej spotreby paliva alebo na zvýšenie výkonu. [23] V súčasnosti už takmer všetky automobilky ponúkajú hybridné verzie svojich modelov, ktorých cieľom je znížiť lokálne emisie v mestách. Hlavnou myšlienkou je skutočnosť, že v meste auto je schopné jazdiť na elektrinu. Prejde minimálnu vzdialenosť a nedosahuje vysoké rýchlosti. [27] Pri brzdení bežného automobilu sa veľká časť nadobudnutej pohybovej energie v brzdách premieňa na teplo. Pri hybridných automobiloch sa táto časť pohybovej energie rekuperáciou premení na elektrickú energiu a uloží sa do batérií na pohon automobilu elektromotorom. Tým sa najmä pri častých zmenách rýchlosti jazdy ušetrí značné množstvo paliva. Preto hlavne v mestách, kolónach a zápchach hybridy v porovnaní s klasickými automobilmi dosahujú mimoriadne veľké úspory paliva. [24] V porovnaní s vozidlami na čisto elektrický pohon však hybridy disponujú oveľa väčším akčným rádiusom, ktorý je zapríčinený prítomnosťou spaľovacieho motora. Majú teda výhodu najmä pri cestách na väčšie vzdialenosti, pretože elektromobil by musel dlhší čas čakať na dobíjanie batérie, zatiaľ čo hybridu stačí natankovať benzín. Rozdelenie používania spaľovacieho motora a elektromotora znázorňuje obr. 2.1.



Obr. 2.1 Rozdelenie používania spaľovacieho motora a elektromotora [24]

2.2 USPORIADANIE HYBRIDNÝCH POHONOV

Podľa toku výkonu hybridný pohon možno rozdeliť na tri základné koncepcie. Principiálne usporiadanie je zrejmé z obr. 2.2. Hlavný rozdiel jednotlivých systémov predstavuje sériové, paralelné alebo zmiešané usporiadanie. [57] Prvým hybridným automobilom v sériovej výrobe sa stala Toyota Prius v roku 2005. [46]

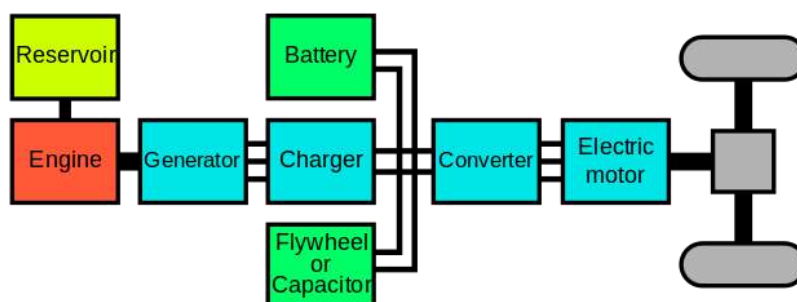


Obr. 2.2 Tri základné koncepcie usporiadania hybridného pohonu. Sériové, paralelné a kombinované [57]

2.2.1 SÉRIOVÉ USPORIADANIE

V prípade hybridného pohonu spaľovací motor nemusí byť mechanicky spojený s kolesami. Môže teda existovať iba ako generátor elektrickej energie. Spaľovací motor môže nerušene pracovať vo svojich optimálnych otáčkach, poháňať elektromotory alebo dobíjať akumulátory. Výhoda tohto usporiadania je v tom, že nie je potrebná žiadna prevodovka. Elektrické trakčné motory sú totiž schopné pracovať v širokom rozsahu otáčok s vysokou účinnosťou a dostatočným točivým momentom už prakticky od nulových otáčok. Pri použití dvoch motorov odpadá dokonca aj diferenciál, lebo medzi kolesami na jednotlivých stranách nie je mechanická väzba. Umiestnením elektromotora priamo do kolesa získame väčší priestor pre posádku a batožinu, zbavíme sa prevodovky aj rozvodovky. Ak uvažujeme o účinnosti každého súkolia so šikmými zubami 0,98 a ložiska 0,995, takýmto uložením značne znížime aj straty. Nevýhodou je zvýšenie hmotnosti neodpružených častí vozidla, čo má negatívny vplyv na životnosť súčastí podvozku a pohodlie cestujúcich. [48] V prípade sériového usporiadania sa spaľovací motor stáva zdrojom energie pre batérie elektrického motora. [52] Jednotlivé poháňacie komponenty sú vzájomne usporiadané za sebou. Spaľovací motor môže byť prevádzkovaný vo veľmi úzkom rozsahu otáčok alebo dokonca len pri jedných otáčkach. Tým odpadajú neekonomické režimy, ako je napríklad voľnobeh. Motor teda môže byť nastavený na optimálny pracovný rozsah s najvyššou účinnosťou. Ak akumulátory nemôžu pokryť aktuálnu spotrebu energie, spaľovací motor je automaticky naštartovaný. Nevýhodou sériového usporiadania je viacnásobná premena energie. Vzhľadom na účinnosť nabitia akumulátora je mechanická účinnosť medzi spaľovacím motorom a hnanou nápravou zriedka väčšia ako 55 %. [57] Sériové usporiadanie je vhodné najmä na

mestské použitie, kde by sa nulové emisie mohli stať povinnými. [14] Schému hybridu so sériovým usporiadaním môžeme vidieť na obr. 2.3.



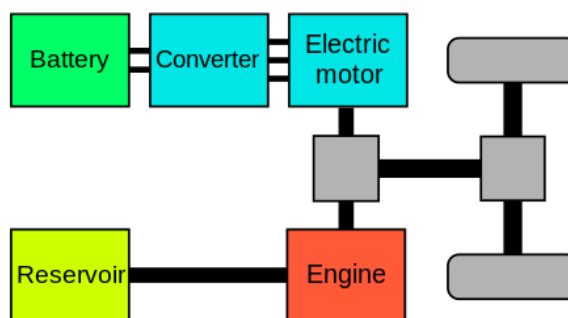
Obr. 2.3 Schéma sériovo usporiadaného hybridu [61]

2.2.2 PARALELNÉ USPORIADANIE

Paralelné hybridy sú najčastejšie vyrábaným typom automobilov. Sú vybavené ako spaľovacím motorom, tak aj elektromotorom, ktoré sú prepojené prevodovkou. Elektromotor aj spaľovací motor sú zapojené „vedľa“ seba, teda paralelne, pričom na pohon automobilu možno využiť buď jeden z nich, alebo oba naraz. Iným označením pre tento typ hybridov je aj „plný hybrid“. [22] Výhodou paralelnej konštrukcie hybridných pohonov oproti sériovému usporiadaniu je vyššia účinnosť, menšia hmotnosť a možnosť využívania viacerých režimov pohonu vozidla. Potrebujú však určité transformačné zariadenie medzi elektromotorom a spaľovacím motorom a vyžadujú si zložitejšie riadenie pohonu. [24] Ako spaľovacie, tak aj elektrické motory poháňajú kolesá rovnakým spôsobom. Produkujú rotačný pohyb, ktorý je prevodovkou prevádzaný na kolesá. V prípade hybridov najjednoduchšie riešenie je vtedy, keď spaľovací aj elektrický systém je napojený na prevodovku simultánne. Toto sa nazýva paralelný hybridný systém. [52] Sú rôzne možnosti, ako môže byť použitý paralelný hybrid. Vozidlo môže byť poháňané elektrinou z batérií, napríklad v meste, kde sú výfukové emisie nežiaduce. Môže byť poháňané iba spaľovacím motorom, napríklad pri jazde mimo mesta. Najčastejšie paralelný hybrid kombinuje použitie spaľovacieho motora a batérie tak, aby optimalizoval efektívnosť spaľovacieho motora. Pri paralelných hybridoch je užitočné definovať veličinu nazývanú „stupeň hybridizácie“ (DOH) nasledovne:

$$DOH = \frac{\text{výkon elektrického motora}}{\text{výkon elektrického motora} + \text{výkon spaľovacieho motora}}$$

Čím väčší je stupeň hybridizácie, tým menej sa na pohon vozidla používa spaľovací motor. [29] Schému hybridu s paralelným usporiadaním môžeme vidieť na obr. 2.4.



Obr. 2.4 Schéma paralelného usporiadaného hybridu [61]

MICRO HYBRID

Micro hybridný pohon využíva najmä spaľovací motor. Elektromotor sa používa len na zlepšenie zrýchlenia. [24] Z pohľadu zadefinovania full hybridných systémov micro hybrid nepatrí k plnohodnotným hybridným systémom. Sú vybavené systémom start-stop, ktorý zastavuje motor vozidla stojaceho dlhšie ako 3 sekundy a okamžite motor znova spustí, len čo sa vodič chce rozbehnúť. Tento systém dosahuje úspory paliva v hustej mestskej prevádzke rádovo len v málo percentách. [9]

MILD HYBRID

Mild hybridné pohony elektromotor využívajú len na zvýšenie krútiaceho momentu pri zrýchlení. Ich elektromotor má však vyšší výkon. [24] Elektromotor je schopný pracovať v motorickom aj generátorovom režime, ale má nízky výkon a nie je schopný poháňať automobil samostatne dlhší čas. Obvykle je umiestnený medzi motorom a prevodovkou a jeho cieľom je pomáhať spaľovaciemu motoru pri rozjazdoch či predchádzaní, respektíve v momentoch, keď spaľovací motor by nepracoval v ideálnom režime. [27] Na rozdiel od full hybridu sám nedokáže zabezpečiť pohon celého vozidla. Celá sústava mild hybridu je jednoduchšia, ľahšia a menšia, avšak sú aj menšie úspory paliva, a to vo výške do približne 15% v mestskej premávke. [9]

FULL HYBRID

Toto označenie vyjadruje, že elektrická časť hybridnej sústavy je taká výkonná, že za určitých okolností dokáže sama zabezpečiť pohon vozidla, zatiaľ čo spaľovací motor zostáva vypnutý. Full hybridy ponúkajú najväčšiu úsporu paliva, ktorá môže dosahovať až 50 % v porovnaní s konvenčným pohonom. Spaľovací motor môže byť výrazne menší bez toho, aby došlo k zhoršeniu dynamických parametrov vozidla. [9] Full hybridné automobily poháňa len elektromotor, prípadne len spaľovací motor, respektíve obidve pohonné jednotky. [24] Plne hybridné vozidlá môžu byť prevádzkované čisto na elektrinu. Ich batérie sú dimenzované na dojazd niekoľko desiatok kilometrov tak, aby pokryli najčastejšie mestské pohyby. Ich prevádzku teda podľa potreby možno realizovať ako pomocou elektrického, tak aj pomocou spaľovacieho motora, a to podľa aktuálnej potreby a výhodnosti daného riešenia. Tento spôsob pohonu využíva napríklad Toyota vo svojom systéme HSD. [27]

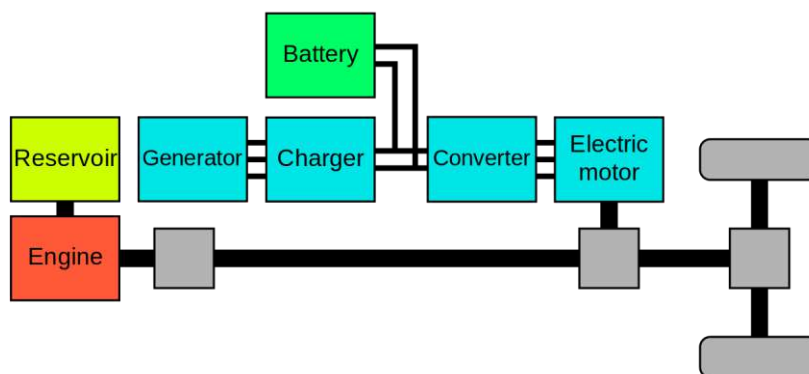
PLUG-IN HYBRID

Z kategórie full hybridov sa neskôr vyvinula dôležitá kategória plug-in hybridov. [27] Plug-in hybridné pohony majú podobnú konštrukciu ako automobily s usporiadaním full hybrid. [24] V tomto prípade elektrická energia uschovaná v batériách nepochádza iba z tepelného motora alebo z rekuperovanej brzdnéj energie, ale aj z iného externého zdroja energie, napríklad z elektrickej zástrčky. Takéto vozidlo možno použiť ako čisto elektrické, čo je žiaduce najmä v mestskej prevádzke. Tepelný motor má úlohu predlžovača dojazdu a umožňuje jazdu vozidlom po vybití batérií alebo pri dlhých cestách. [14]

2.2.3 KOMBINOVANÝ HYBRID

Kombinovaná konštrukcia hybridného pohonu sa podobá paralelnému usporiadaniu. Výkon spaľovacieho motora sa môže prenášať po dvoch vetvách cez planétový prevod alebo elektricky.

Spomínaná kombinovaná konštrukcia hybridného pohonu má výhody sériového aj paralelného usporiadania. Nevýhodou je vyššia hmotnosť pohonu. [24] Kombináciou oboch usporiadaní spaľovací motor môže aj priamo poháňať kolesá (ako pri paralelnom systéme), aj generovať elektrinu na elektrický motor (ako pri sériovom systéme). Pri nižších rýchlostiach funguje viac ako sériový hybrid, pri vyšších rýchlostiach sériové usporiadanie je menej efektívne. Pri vyšších rýchlostiach pohon vozidla preberá hlavne spaľovací motor. Náklady na toto usporiadanie sú vyššie, pretože v porovnaní s paralelným hybridom potrebuje navyše generátor, batérie s väčšou kapacitou a viac výpočtovej sily na kontrolu duálneho systému. Tento systém má vyššiu efektívnosť a spotrebuje menej paliva ako čisto sériový alebo čisto paralelný systém. [51] Schému kombinovaného hybridu môžeme vidieť na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Schéma kombinovaného hybridu [61]

2.3 TECHNOLOGIE SPOJENÉ S HYBRIDNÝM POHONOM A ICH BUDÚCNOSŤ

2.3.1 BRZDENIE SO SPÄTNÝM ZÍSKANÍM ENERGIE (REKUPERAČNÉ BRZDENIE)

Regeneračné brzdenie rekuperuje energiu, ktorá by bola inak stratená v dôsledku brzdenia. Využíva pohyb kolies na roztočenie motora. Toto generuje elektrinu a pomáha vozidlu spomaliť. [23] Umožňuje teda premenu marenej energie na takú formu, ktorú možno uschovať a neskôr znova využiť. Najčastejšie býva premieňaná na elektrickú a uschovávaná v batériách. Klasické brzdy premieňajú kinetickú energiu na tepelnú bez možnosti jej ďalšieho využitia. Takéto fungovanie je však neekonomické a neekologické, preto výrobcovia prichádzajú so systémami na rekuperáciu brzdnéj energie. Najčastejšie sa pohybová energia uschováva vo forme elektrickej energie prostredníctvom batérií a kondenzátorov (napr. e-HDI, GreenLine) alebo ako kinetická energia prostredníctvom zotrvačiek – systémy KERS. [49]

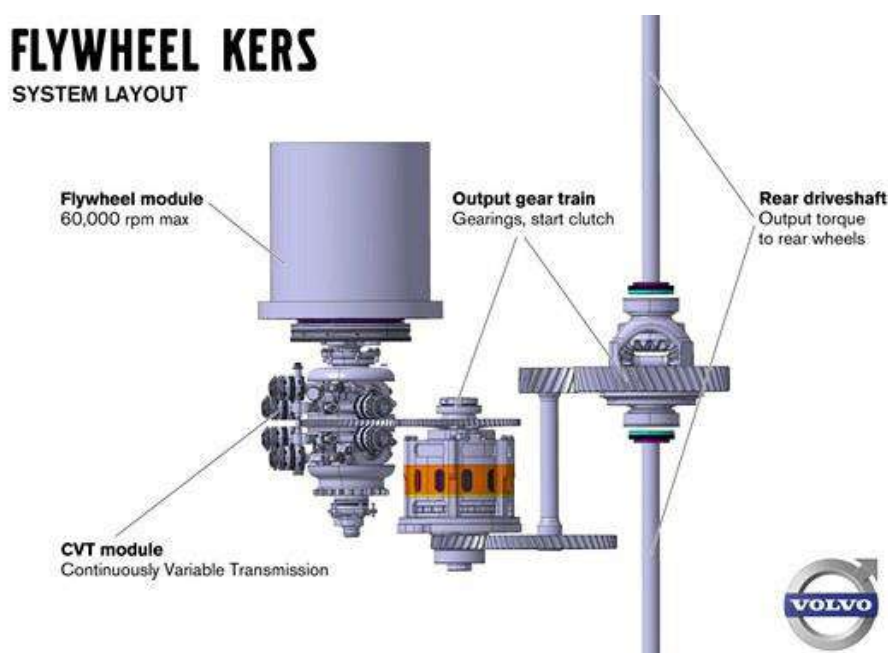
UKLADANIE ENERGIE DO KONDENZÁTOROV

Automobilka Mazda vyvinula nový systém rekuperácie brzdnéj energie. Takzvaný i-ELOOP ukladá elektrickú energiu do kondenzátora. Výrobca tvrdí, že v hustej premávke dokáže znížiť spotrebu vozidla až o 10 %. [6] Názov je skratka z Intelligent Energy Loop, teda inteligentná energetická slučka. Unikátnosť systému spočíva v samotnom kondenzátore. Ten je schopný krátkodobo uschovať veľké množstvo elektrickej energie. Na rozdiel od batérií sa síce rýchlo vybíja, ale aj veľmi rýchlo nabíja. Na plnú kapacitu sa dokáže nabiť za pár sekúnd. Ďalšou výhodou je odolnosť voči opotrebovaniu pri dlhodobom využití. Kinetická energia vozidla sa pri brzdení ukladá do kondenzátora. Následne je využívaná na napájanie elektricky poháňanej klimatizácie, audiosystému a ďalších spotrebičov. Okrem kondenzátora systém i-ELOOP využíva aj alternátor s variabilným napätím 12 – 25 V. [32] Toto riešenie na

akumuláciu energie nepotrebuje elektromotor ani batérie. V spolupráci so systémom štart-stop i-ELOOP dokáže predĺžiť čas, keď motor môže byť vypnutý. [6]

UKLADANIE ENERGIE DO ZOTRVAČNÍKA - KERS

Zotrvačnickový akumulátor sa výborne hodí na krátkodobú akumuláciu energie. Je schopný okamžite prijímať a vydávať veľkú energiu, preto je vhodný na akumuláciu energie pri brzdení. [31] Zotrvačnickový systém KERS (Kinetic Energy Recovery System) na rekuperáciu energie pri brzdení má pôvod vo formule 1. Vznikol ako alternatíva plne elektrického hybridného riešenia, na rozdiel od ktorého je schopný rýchlejšie pohltiť veľké množstvo energie. Hranice roztočenia zotrvačníka ležia totiž ďalej ako miera rekuperácie elektrickej energie do batérií. Švédsko automobil Volvo dokončila kompletne testovanie svojho vlastného zotrvačnickového systému. Volvo má KERS montovať na zadnú nápravu, nebude teda priamo spriahnutý s motorom, ktorý poháňa prednú nápravu. Energia bude na zadné kolesá prenášaná bezstupňovou prevodovkou CVT. Systém je v súčasnej verzii schopný dodávať výkon približne 60 kW a auto s preplňovaným štvorvalcovým motorom tak dodáva jazdné výkony porovnateľné s preplňovanými šesťvalcami. Volvo však tvrdí, že v porovnaní so šesťvalcovým motorom má štvorvalec v kombinácii so systémom KERS ušetriť až 25 % paliva. Systém je najefektívnejší v mestskej prevádzke, kde prichádza k častému zrýchľovaniu a brzdeniu. Ďalšou výhodou okrem úspory paliva je veľmi dobrá dynamika. Prispieva k tomu veľmi rýchly nástup sily od zotrvačníka a fakt, že dochádza k prenosu na zadnú nápravu, ktorá pri zrýchľovaní má lepšiu trakciu. [56] Usporiadanie zotrvačnickového systému KERS automobilky Volvo vidíme na obr. 2.6.



Obr. 2.6 Usporiadanie zotrvačnickového systému KERS automobilky Volvo [48]

Okrem spomínanej úspory paliva 25 % systém KERS prináša aj zlepšenie zrýchlenia z 0 na 100 km/h. Zotrvačník má maximálne otáčky 60000 ot/min. Vďaka tomu, že sa otáča vo vákuu, dokáže si uschovať získanú energiu až na čas 20 minút, kým sa postupne začne strácať. Kapacita zotrvačníka umožní jazdu s 60 kW výkonovým bonusom až 10 sekúnd. Opätovne ho naplno roztočí brzdenie trvajúce 8 sekúnd. Celý systém s plynulo meniteľným prevodom váži iba 60 kg. To je výrazne menej než klasické batériové hybridy. Produkčný model by sa mal začať predávať okolo roku 2020. [13]

2.3.2 AUTOMATICKÝ ŠTART-STOP

Systém štart-stop vyvinula spoločnosť Bosch ako svoj príspevok do ekonomickej a ekologickej prevádzky vozidiel. Dokáže vypnúť spaľovací motor v prípade pokojového stavu vozidla, napríklad v dopravnej zápchke alebo pri státi na červenu. Ak vodič chce pokračovať v jazde, stačí stlačiť spojkový pedál a motor znova automaticky naskočí. [50] V prípade automatickej prevodovky sa motor znova naštartuje po uvoľnení nohy z brzdového pedála. [11] Na použitie tejto funkcie bol vytvorený špeciálny štartér, ktorý dostal výkonnejší elektromotor a má tichší chod. Jeho životnosť bola výrazne predĺžená. Na správnu a bezproblémovú funkciu je potrebná súčinnosť viacerých zariadení a snímačov. Najprv riadiaca jednotka motora skontroluje, či sa motor nachádza v stave chodu naprázdno, či sú kolesá v pokoji a či batéria disponuje dostatočným množstvom energie na opätovné naštartovanie motora. Ak tieto podmienky sú splnené, motor sa vypne. [50] Vypínanie motora na čas, keď jeho výkon nie je potrebný, šetrí energiu. Štartovanie ju však zasa spotrebúva. Extrémne krátke vypnutie teda vôbec nemusí byť užitočné. Napríklad Toyota uvádza, že pri motore s objemom 1,33 l sa vypnutie oplatí po 3,5 sekundách. [11]

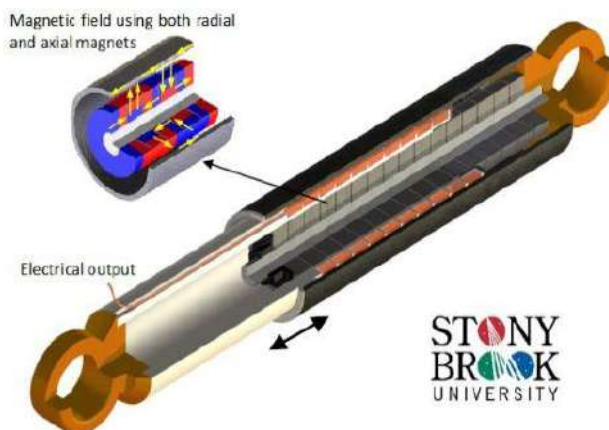
Výhodou celého systému je zníženie spotreby paliva a produkcie emisií. Výhody sa najviac prejavujú pri mestskej prevádzke. Spoločnosť Bosch uvádza zníženie spotreby paliva a emisií CO₂ až o 8 %.

Nevýhodou je zníženie životnosti ako štartéra, tak aj celého vozidla. Tento systém často býva zle vyladený, a tak sa stáva, že vozidlo vypne motor aj nežiadane, napríklad pri požiadavke na vykurovanie, chladenie a podobne. [50] Motoristi pri neustále vypínaných a štartujúcich motoroch musia bojovať s väčším namáhaním. V týchto okamihoch je problém s nedostatočným mazaním motora. Navyše sa prejavujú poruchy prameniace z väčšieho opotrebovania kľukovej hriadele. [11]

2.3.3 INTELIGENTNÉ TLMIČE

Automobil dokáže využiť iba malú časť energie z paliva. Značná časť sa stráca v dôsledku brzdenia vo forme tepla či vibrácií. Práve časť energie z vibrácií by sme mohli získať naspäť vďaka novej generácii tlmičov, ktoré využívajú nárazy a chvenie automobilu na výrobu elektrickej energie. Zavedenie takýchto tlmičov zníži spotrebu paliva hybridných automobilov až o 8 %. Samozrejme, dajú sa využiť aj v elektromobiloch.

Zariadenie sa skladá z magnetického valca, na ktorý sa nasadzuje cievka. Vďaka nárazom a vibráciám sa magnetický valec pohybuje vnútri cievky, ktorá vyrába elektrickú energiu. Pri inštalácii na stredne veľký automobil tlmič pri rýchlosti auta 100 km/h dokáže poskytnúť výkon medzi 100 – 400 W. Na cestách s horším povrchom výkon môže dosiahnuť až 1600 W. Vyrobená energia môže nabíjať nielen batérie elektromobilov, ale môže aj znížiť spotrebu paliva automobilov so spaľovacím motorom. Pri konvenčných automobiloch elektrina vyrobená z tlmičov znižuje zaťaženie alternátora, a teda aj zaťaženie spaľovacieho motora. Vďaka tomu môže dôjsť k poklesu spotreby paliva o 1 – 4 % v prípade vozidiel so spaľovacím motorom a až o 8 % v prípade hybridných automobilov. [16]



Obr. 2.7 Inteligentný tlmič vyrábajúci elektrickú energiu [16]

2.3.4 MIKROTURBÍNA PRE HYBRIDNÉ AUTÁ

Britská firma Delta Motorsport pracuje na unikátnom predlžovači dojazdu na báze mikroturbíny MiTRE (Micro Turbine Range Extender) pre hybridné automobily. Jej výhody sú predovšetkým v jednoduchosti a kompaktných rozmeroch. Kľúčové výhody turbíny v porovnaní s piestovými motormi sú napríklad jednoduchosť konštrukcie, kompaktnosť rozmerov, nízka hmotnosť, nízke vibrácie a predovšetkým možnosť jazdiť na prakticky akékoľvek palivo (benzín, nafta, LPG, CNG, olej a iné). Turbína navyše v porovnaní s piestovými motormi nie je taká citlivá na kvalitu paliva. [17] Ďalšími prednosťami sú dlhé servisné intervaly a spoľahlivosť. [65] Hlavné problémy turbíny v minulosti predstavovala vysoká spotreba paliva a nízka pracovná teplota, ktorá spôsobovala veľké emisie NO_x. Nevýhodou v prípade priameho poháňania kolies turbínou by bola pomalá reakcia pri požiadavke na zvýšenie výkonu. V hybridných automobiloch turbíny môžu fungovať ako predlžovače dojazdu pri konštantných pracovných podmienkach a minimalizovať tak svoje nevýhody. V súčasnosti neexistuje sériové osobné vozidlo, ktoré by v pohonnej jednotke využívalo turbínu. To chce zmeniť Delta Motors. Spolu s britskými automobilkami Ariel a Morgan pracuje na prototypoch turbíny MiTRE s výkonom 17 kW a 35 kW. Dokáže pracovať na najrôznejšie typy paliva, ale vo verzii 35 kW bude podľa prepočtov o 50 % ľahšia a o 40 % menšia ako obdobný piestový motor. Britská firma verí v dosiahnutie 35 % tepelnej účinnosti, čo je hodnota porovnateľná s piestovými spaľovacími motormi. Nové materiály umožňujú zvýšiť teplotu v turbíne a sú odolnejšie, a tak turbína môže mať dlhšiu životnosť. [17] Spoločnosť hovorí, že prvý sériový automobil s ich turbínou sa predstaví už v roku 2019 a na trh príde o rok neskôr. [65] Na obr. 2.8 môžeme vidieť demonštrátor predlžovača dojazdu MiTRE.



Obr. 2.8 Technologický demonštrátor predlžovača dojazdu MiTRE [65]

2.4 EMISIE VOZIDIEL S HYBRIDNÝM POHONOM

Hybridné pohony vďaka svojej vysokej účinnosti majú nízke emisie. [48] Elektrický pohon neprodukuje priame emisie, má nízku hladinu hluku a priaznivú výkonovú charakteristiku. Hlavnou nevýhodou je však obmedzený dojazd. [57] Túto nevýhodu sa hybridné automobily snažia dohnať prítomnosťou spaľovacieho motora. Ten spolupracuje s elektromotorom tak, aby sa ich účinnosť zvýšila a aby spotreba a emisie boli čo najnižšie. Automobily s hybridným pohonom majú teda nižšie priame emisie ako obdobné automobily pracujúce výhradne na benzín či naftu.

2.5 BEZPEČNOSŤ VOZIDIEL S HYBRIDNÝM POHONOM

Automobily s hybridným pohonom majú dva motory. Tento fakt sa prejavuje na zvýšení celkovej hmotnosti vozidla, teda aj na zvýšení bezpečnosti posádky v prípade havárie. Naopak, v prípade stretu automobilu s chodcom tento fakt hrá proti nemu.

2.6 VÝHODY HYBRIDNÝCH VOZIDIEL

Hybridné automobily umožňujú najmä mestskú prevádzku bez emisií. [57] Snažia sa kombinovať činnosť elektromotora so spaľovacím motorom tak, aby dosiahli čo najefektívnejšiu prevádzku. V porovnaní s vozidlami na benzín či naftu majú teda nižšiu spotrebu a menšie emisie. V porovnaní s elektromobilmi je výhodou prítomnosť spaľovacieho motora, a to najmä pri cestovaní na dlhšie vzdialenosti. Akčný rádius hybridov je značne vyšší. Navyše im stačí iba dotankovať a nemusia dlhý čas čakať na nabitie batérií.

2.7 NEVÝHODY HYBRIDNÝCH VOZIDIEL

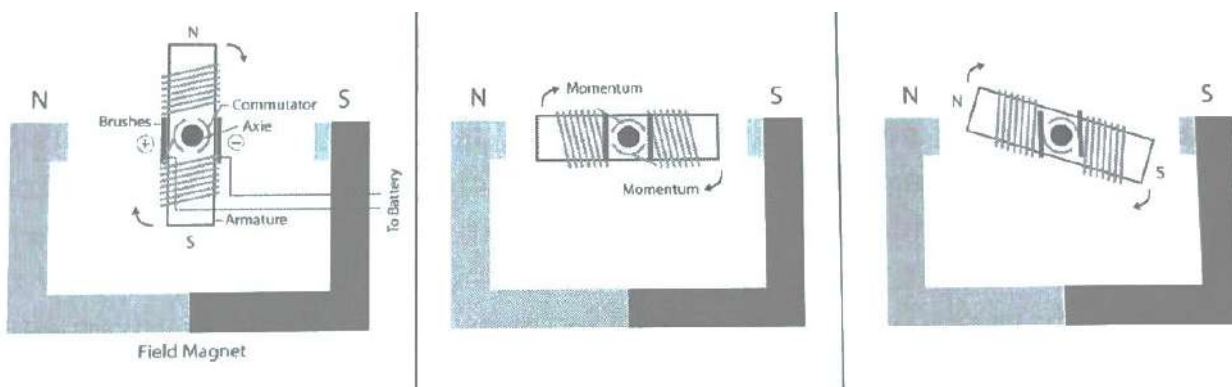
Medzi jednu z hlavných nevýhod hybridných automobilov patrí ich vyššia cena oproti vozidlám na konvenčný pohon. Toto je spôsobené potrebou ďalšieho motora, a teda aj vyššou zložitnosťou celého automobilu. Aj prítomnosť elektromotora a batérií prispieva k zvýšeniu hmotnosti vozidla a zhoršeniu jazdných vlastností. Priame emisie v prípade hybridných automobilov sú síce nižšie ako vo vozidlách s pohonom na tradičné palivá, ale ak nejazdia čisto na elektromotor, spaľovací motor vždy bude produkovať emisie.

3 ELEKTROMOBILY

Ropa je neobnoviteľný zdroj a jej ťažba sa stáva čím ďalej, tým nákladnejšia. Mnoho veľkých ložísk, z ktorých sa ťaží, je blízko vyčerpania a bude potrebné dolovať ju z nálezísk, kde je ťažba oveľa zložitejšia a nákladnejšia, alebo sa bude musieť vyrábať z iných fosílnych palív, napríklad z uhlia. Tieto faktory dramaticky ovplyvnia ceny benzínu a nafty na čerpacích staniciach, čo môže byť významný faktor produkcie a rozšírenia používania elektromobilov. [29] Vysoká efektivita, výkon a ekologickosť sú výhody, ktoré elektrické vozidlá ponúkajú oproti spaľovacím motorom. Tieto výhody plynú z nahradenia pohonu založenom na spaľovacom motore elektromotorom. Zatiaľ čo spaľovacie motory sú založené na komplexnom systéme rýchlo sa pohybujúcich súčiastok, elektromotory závisia od jednoduchšej interakcie medzi elektromotorom, elektronickou riadiacou jednotkou (ECU) a drasticky zjednodušeným prevodovým systémom. [52]

3.1 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O ELEKTROMOBILCH

Elektrický motor funguje na jednoduchom princípe. Elektrický prúd prechádzajúci cez vodič produkuje okolo seba elektromagnetické pole. Ak je navinutý na cievke, dočasne vykazuje vlastnosti konvenčného magnetu. Ak táto cievka, nazývaná elektromagnet, je umiestnená v blízkosti ďalšieho magnetu, budú sa navzájom priťahovať alebo odpudzovať, tvoriac pohyb. Elektromotory sú konštruované tak, že magnetické elementy sú nakonfigurované takým spôsobom, aby vytvárali súvislý rotačný pohyb. Elektromotor pozostáva z dvoch základných elementov. To sú stator – stacionárny element a rotor – rotujúci element, ktoré pracujú spoločne a premieňajú elektrický prúd na kinetickú energiu. Je to presný opak generátora, ktorý premieňa kinetickú energiu na elektrickú. [52] Základný princíp fungovania elektromotora môžeme vidieť na obr. 3.1.



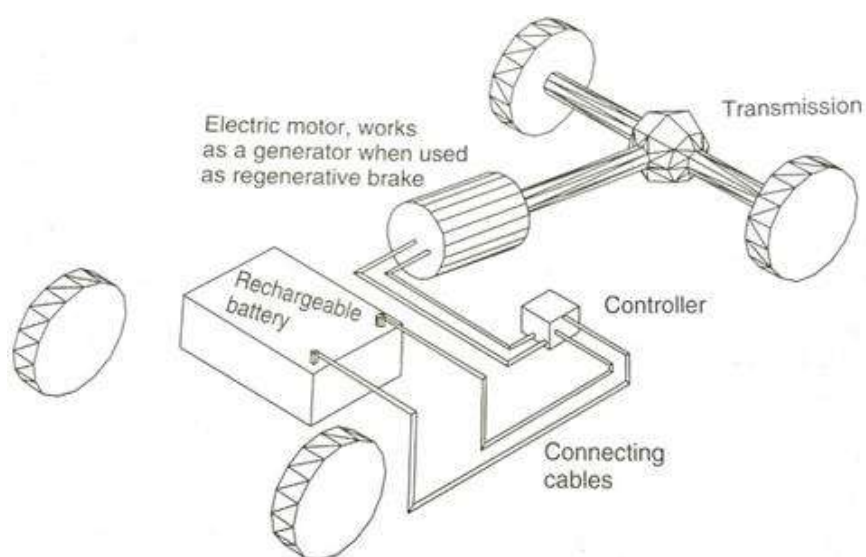
Obr. 3.1 Základný princíp fungovania elektromotora [52]

Elektromotor je skonštruovaný tak, že polarita elektromagnetického poľa sa v čase mení v závislosti od pólov permanentného magnetu. Toto je nevyhnutné. Neprestávajúca rotácia môže byť dosiahnutá iba alternáciou polarity elektromagnetického poľa. Keby elektromagnetické pole nealternovalo, rotor by sa kýval o 180° a po čase by sa zastavil, keď sa zrovná elektromagnetický sever s magnetickým juhom a opačne. Menenie polarity je dosiahnuté menením smeru jednosmerného prúdu. [52]

3.2 TYPY ELEKTRICKÝCH VOZIDIEL

3.2.1 ELEKTRICKÉ VOZIDLÁ NA BATÉRIE

Koncept elektrického vozidla na batérie je konceptuálne jednoduchý, ako môžeme vidieť na obr. 3.2. Vozidlo pozostáva z batérie na uchovanie elektrickej energie, elektrického motora a regulátora. Batéria je obvykle nabíjaná zo zástrčky a jednotky na nabíjanie batérií, ktorá môže byť prepravovaná vo vozidle alebo môže byť na mieste určenom na nabíjanie. Regulátor kontroluje energiu dodávanú motoru, a teda aj rýchlosť vozidla, a to dopredu aj dozadu. Toto je známe aj ako dvojkvadrantový regulátor. Zvyčajne je žiaduce využiť regeneratívne brzdenie (pozri kapitolu 2.3.1) na znovuzískanie energie. Ak navyše regulátor umožňuje regeneratívne brzdzenie pri pohybe dopredu aj dozadu, hovoríme mu štvorkvadrantový regulátor. Na trhu je dostupných veľa vozidiel tohto typu. Jako príklad môžeme uviesť Nissan Leaf alebo Mitsubishi MiEV. [29]



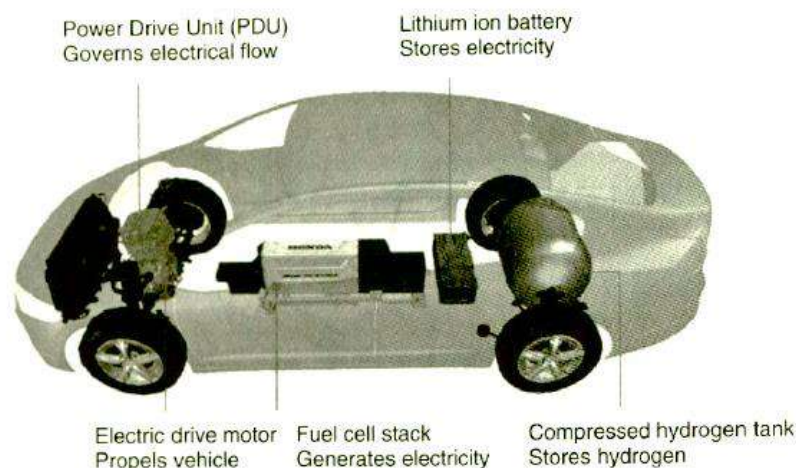
Obr. 3.2 Elektrické vozidlo s nabíjateľnou batériou [29]

3.2.2 HYBRIDNÉ VOZIDLÁ TYPU SPALOVACÍ MOTOR/ELEKTROMOTOR

Hybridné vozidlo má dva a viac zdrojov výkonu. Najbežnejší typ hybridných vozidiel je kombinácia spaľovacieho motora s batériou, elektrickým motorom a generátorom. Základné usporiadania týchto vozidiel sú sériové a paralelné. [29] Pre bližší opis takýchto typov vozidiel pozri kapitolu 2.2.

3.2.3 PALIVOVÉ ELEKTRICKÉ VOZIDLÁ

Princíp týchto vozidiel je rovnaký ako pri elektrických vozidlách na batérie, ale s palivovým článkom nahrádzajúcim nabíjateľnú batériu. Hlavným problémom palivových článkov je to, že potrebujú vodíkové palivo. To môže byť uchovávané vo vozidle, čo však nieje jednoduché. Alternatívou môže byť získavanie vodíka z iného paliva, napríklad z metanolu. Automobil by ho mohol jednoducho tankovať, rovnako ako napríklad benzín. Príkladom automobilu poháňaného palivovými článkami je Honda FCX Clarity. Základné usporiadanie vidíme na obr. 3.3. [29] O tomto systéme budeme bližšie hovoriť v kapitole 4.2.



Obr. 3.3 Základné usporiadanie automobilu Honda FCX Clarity [29]

3.2.4 ELEKTRICKÉ VOZIDLÁ VYUŽÍVAJÚCE NAPÁJACIE VEDENIE

Týmto napájaním sú známe električky a trolejbusy so širokým uplatnením v mestskej hromadnej doprave. Obvykle sú napájané z vedenia umiestneného nad vozovkou. Trolejbusy bývajú vybavené malou batériou zabezpečujúcou limitovaný dojazd bez používania vedenia. [29] Tieto vozidlá neproduktujú žiadne priame emisie, a tak ich použitie v mestách je z ekologického hľadiska veľmi priaznivé.

3.2.5 SLNKOM POHÁŇANÉ VOZIDLÁ

Najväčší zdroj energie je Slnko. Slnčné žiarenie, ktoré dopadne na povrch zemegule za jediný deň, by stačilo zásobovať energiou celé ľudstvo počas jedného roku. Možnosti využitia tejto energie sú veľmi široké. Je možná aj priama premena slnečného žiarenia na elektrický prúd v slnečných článkoch. Táto premena má zatiaľ malú účinnosť a pokusy s jej využitím na pohon automobilov neboli veľmi úspešné. [31] Vozidlá poháňané slnečnou energiou, napríklad Honda Dream, ktorú môžeme vidieť na obr. 3.4, sú drahé a efektívne pracujú iba v oblastiach s veľkým množstvom slnečného žiarenia. Je síce nepravdepodobné, že autá tohto typu by našli praktické využitie v každodennom živote, avšak efektívnosť solárnych fotovoltických článkov narastá a ich cena klesá. Koncept používania solárnych článkov, ktoré by boli zakomponované do povrchu automobilu, aby nabíjali jeho batériu, je prijateľný nápad. Ak sa v budúcnosti znížia náklady a vzrastie efektívnosť, môže to nájsť praktické využitie. [29]



Obr. 3.4 Honda Dream, víťaz World Solar Challenge z roku 1996 [19]

3.2.6 VOZIDLÁ VYUŽÍVAJÚCE LINEÁRNY MOTOR

Lineárny motor je elektrický motor, ktorý má stator aj rotor rozvinutý, čiže namiesto produkcie rotačného pohybu v dôsledku krútiaceho momentu produkujú lineárny pohyb v dôsledku sily pozdĺž jeho dĺžky. Dôležitosť lineárnych motorov v kombinácii s magnetickou levitáciou má vzrastajúci význam vzhľadom na ich použitie vo vlakoch Maglev. [29]

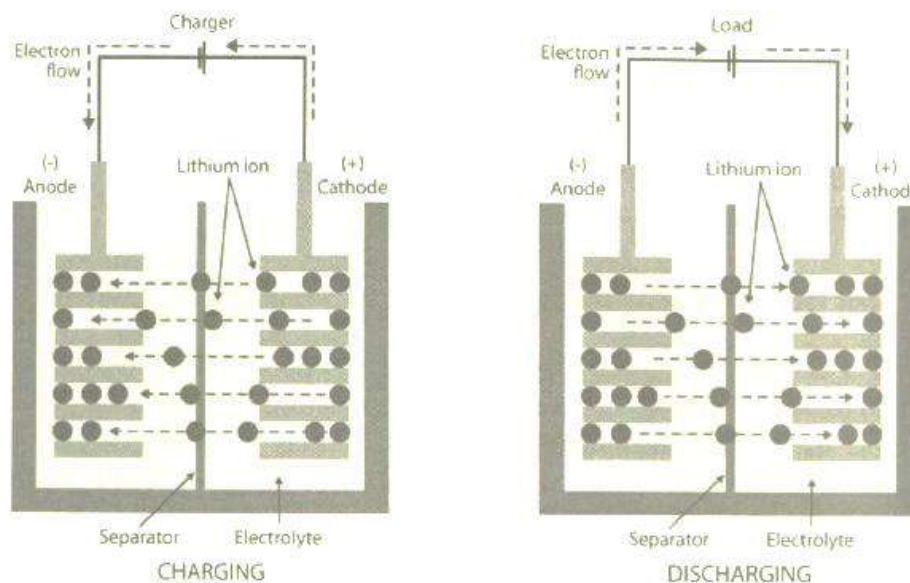
3.3 BATÉRIE

Už viac ako storočie sú elektrochemické batérie, alebo iba batérie, používané na pohon elektrických vozidiel. Samozrejme, od roku 1834, keď Thomas Davenport použil nenabíjateľnú olovenú batériu na pohon elektromobilu, sa veľa zmenilo. [52] V prípade elektrických vozidiel je batéria jediným zásobníkom energie. Je zároveň komponentom s najvyššou cenou, hmotnosťou a objemom. Batéria pozostáva z dvoch alebo viacerých článkov, ktoré sú navzájom spojené. Články konvertujú chemickú energiu na elektrickú. Pozostávajú z kladnej a zápornej elektódy v elektrolyte. Chemická reakcia medzi elektródami a elektrolytom generuje jednosmerný prúd. Pri nabíjateľnej batérii táto chemická reakcia môže byť obrátená obrátením prúdu a batéria môže byť opätovne uvedená do nabitého stavu. [29]

3.3.1 PRINCÍP FUNGOVANIA BATÉRIÍ

Narozdiel od spaľovacích motorov, kde energia je nevratne premenená na pohyb, chemické látky v batériách konzervujú energiu zmenou svojho stavu. Inými slovami, v batériách prebiehajú vratné chemické reakcie. Konvertovanie elektrickej energie na chemicky uloženú energiu počas nabíjania a opačne konvertovanie uloženej chemickej energie späť na elektrickú na použitie v motore.

Batéria pozostáva z niekoľkých elektrochemických článkov spojených dohromady. Majú rovnaké elektrochemické vlastnosti a prevádzkové charakteristiky i funkciu ako nezávislé modulárne subjedy batérie. Preto niektoré články môžu dosiahnuť nabitie alebo vybitie skôr ako ostatné. Typická konfigurácia pozostáva z troch primárnych elementov. Sú to negatívna elektróda – anóda a kladná elektróda – katóda, ktoré sú ponorené do elektrolytickej (elektricky vodivej) látky. Uvažujme o reakcii prebiehajúcej na lítium-iónovej (Li-ion) batérii. Rovnaké základné princípy môžeme aplikovať na akúkoľvek inú chemickú kompozíciu. Anóda typicky pozostáva z uhlíka v grafitickej forme, zatiaľ čo katóda je prechodný oxid kovu. Presná kompozícia, kde je kľúčový determinant charakteristiky danej batérie. Anóda aj katóda majú zložky umožňujúce lítiovým iónom preniknúť dnu a von počas nabíjania a vybíjania. Elektródy sú ponorené do elektrolytického roztoku, ktorý pozostáva z lítiovej soli rozpustenej v organickom rozpúšťadle, kde je separátor (napríklad polypropylén) na zabránenie prenikaniu elektrónov medzi elektródami priamo cez elektrolyt. [52] Princíp fungovania Li-ion batérie môžeme vidieť na obr. 3.5.



Obr. 3.5 Princíp fungovania Li-ion batérie [52]

3.4 NABÍJANIE ELEKTROMOBILOV

Výkon zabudovanej nabíjačky elektromobilu ovplyvňuje, ako rýchlo sa dokáže nabiť. Nabíjacie stanice sa líšia výkonom. Ten býva v rozmedzí od 2,3 kW do 22 kW. Čím vyšší výkon má nabíjacia stanica, tým kratší čas je potrebný na nabitie elektromobilu. V Európe boli donedávna rozšírené 2 typy koncoviek nabíjačiek. Typ 1 – CHAdeMO a typ 2 – Mennekes. Došlo však ku štandardizovaniu koncoviek v Európe a typ 2 – Mennekes sa stal európskym štandardom. Postupne sa bude zavádzať na všetky nabíjacie stanice. [36]

3.4.1 PRINCÍP NABÍJANIA ELEKTROMOBILOV

Základný princíp nabíjania elektromobilu je ten, že do článkov jeho batérie sa privádza a uskladňuje elektrická energia, ktorá prúdi zo zdroja. Týmto zdrojom môže byť bežná elektrická sieť alebo výkonná nabíjacia stanica. Ide o rovnaký princíp ako napríklad pri nabíjaní mobilného telefónu. Dokonca batéria mobilu či iného elektronického zariadenia je z technologickej stránky takmer identická s batériami elektromobilov Tesla.

Pre rýchlosť nabíjania má zásadný vplyv typ prúdu, ktorý sa do elektromobilu privádza. Batériové články dokážu uskladniť iba energiu získanú z jednosmerného prúdu, preto je najlepšou voľbou priame nabíjanie pomocou jednosmerného prúdu. To však umožňujú iba drahé a výkonné nabíjacie stanice, ktoré dokážu pretransformovať striedavý prúd z elektrickej siete na jednosmerný.

Pri nabíjaní elektromobilu striedavým prúdom sa tento prúd musí premeniť na jednosmerný. Na to slúži tzv. palubná nabíjačka, čo je nabíjačka integrovaná priamo do elektromobilu. Proces transformácie elektrického prúdu však spomaľuje nabíjanie. Pre čo najrýchlejšie nabitie je nutné vyhľadať výkonnú nabíjaciú stanicu, ktorá dokáže nabíjať batériu priamo jednosmerným prúdom.

Pre rýchlosť nabíjania okrem typu prúdu (AC/DC) je dôležitý aj výkon elektrickej siete. Ten definuje počet fáz, napätie a prúd. Ak nabíjame elektromobil striedavým prúdom, je dôležitý aj výkon palubnej nabíjačky, pretože jej výkon ovplyvňuje rýchlosť a schopnosť transformácie striedavého prúdu na jednosmerný. Pre rýchlosť nabíjania na nabíjaciach staniach, ktoré nabíjajú batériu elektromobilu priamo jednosmerným prúdom, je najdôležitejší samotný výkon stanice. Výkon palubnej batérie pri tomto spôsobe je

nepodstatný, keďže batéria sa nabíja jednosmerným prúdom priamo z nabíjacej stanice, čím vlastne obchádza palubnú nabíjačku. [62] Palubnú nabíjačku môžeme vidieť na obr. 3.6.



Obr. 3.6 Tesla palubná nabíjačka [62]

3.4.2 NABÍJANIE ZO ZÁSUVKY

Elektromobil sa dá nabíjať aj cez klasickú 230 V zásuvku, ktorá je istená 16 A ističom. Umožňuje to zabudovaná nabíjačka v elektromobile. Nabíjačka premieňa striedavý prúd zo zásuvky na jednosmerný, ktorý potom pošle do batérie. Stačí spojiť zásuvku a elektromobil špeciálnym nabíjacím káblom. Takéto nabíjanie však môže trvať až 12 hodín, preto je vhodné skôr na domáce nabíjanie v noci. Alternatívou je nainštalovať si doma trojfázovú zásuvku 400V-16A-11kW, respektíve 400V-32A-22kW, ktorá skráti nabíjanie na 6, respektíve 3 hodiny. [36]

3.4.3 NABÍJACIE STANICE

Nabíjacie stanice sa líšia typom prúdu a výkonom. Nabíjacie stanice na striedavý prúd (AC) do 22 kW/32 A fungujú na rovnakom princípe ako dobíjanie zo zásuvky. Nabíjacia stanica posiela striedavý prúd do nabíjačky v aute, tá ho premení na jednosmerný prúd, ktorý následne pošle do batérie. Nabíjanie na týchto nabíjacích staniciach trvá dlho a je drahšie. Nabíjacie stanice na jednosmerný prúd (DC) nad 22 kW/32 A nabíjajú elektromobil jednosmerným prúdom, ktorý ide priamo do batérie. Patria sem nabíjačky Tesla Supercharger a rýchlonabíjačky CHAdeMO, Combo – CSS. Výhodou je, že elektromobil dokážu nabiť za podstatne kratší čas. [36]

3.4.4 WALLBOX

Wall box je domáca nabíjacia stanica, ktorá sa skladá zo zásuvky a kábla. Na trhu je viacero výrobcov. Jednotlivé wall boxy sa líšia výkonom, dizajnom a typom zásuvky. Ich cena sa pohybuje medzi 500 a 1500 €. [36] Ukážku domáceho wall boxu vidíme na obr. 3.7.



Obr. 3.7 Wall box SE [36]

3.5 TESLA MOTORS

V súčasnosti je popredným a progresívnym výrobcom elektrických osobných vozidiel americká spoločnosť Tesla Motors. Už dnes môžeme povedať, že Model S s novinkami a technológiami, ktoré priniesol, vstúpil do automobilovej histórie. Za povšimnutie stojí jeho dojazd, vynikajúce jazdné vlastnosti a fakt, že jeho koeficient aerodynamického odporu je jedným z najmenších spomedzi sériovo vyrábaných automobilov.

3.5.1 TESLA SUPERCHARGER

Ide o najmodernejšiu a najvýkonnejšiu sieť nabíjacích staníc pre elektrické vozidlá na svete. Spoločnosť Tesla Motors tieto stanice vyvíja a buduje od roku 2012. Stavajú ich na najvyťaženejších dopravných ťahoch a dopravných uzloch po celom svete. Sieť sa snaží zamerať na medzimiestské cestovanie na dlhé vzdialenosti, kde dôležitú úlohu zohráva dĺžka nabíjania. Preto sa stanice často vyskytujú v blízkosti reštaurácií, nákupných centier a wi-fi hotspotov. O stave nabitia batérie je vodič na diaľku informovaný mobilnou aplikáciou.

Nabíjanie pomocou staníc Tesla Supercharger je najjednoduchšia a najrýchlejšia forma nabíjania elektromobilov Tesla. Stačí iba zaparkovať k nabíjaciemu kiosku a pripojiť integrovaný konektor do nabíjacieho portu Tesly. V európskej verzii je do Superchargerov integrovaný konektor typu 2 – Mennekes, ktorý je kompatibilný s nabíjacím portom európskych modelov Tesla. Na tomto type nabíjacích staníc je možné nabíjať iba elektromobily značky Tesla.

V súčasnosti je po celom svete postavených viac ako 710 nabíjacích staníc Tesla Supercharger s vyše 4400 nabíjačkami. Najhustejšia sieť je v USA, západnej Európe, Číne, Japonsku a na juhovýchodnom pobreží Austrálie. Väčšinu západnej Európy je možné precestovať s výhradným nabíjaním na staniciach Supercharger. K 19. septembru 2016 bolo v Európe sprevádzkovaných 255 nabíjacích staníc s 1574 samostatnými nabíjačkami. [2]

Mapy zobrazujúce rozmiestnenie nabíjacích staníc Tesla Supercharger v Európe, Severnej Amerike a Východnej Ázii vidíme na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Mapy nabíjacích staníc Tesla Supercharger [12]

TECHNOLÓGIA NABÍJANIA TESLA SUPERCHARGER

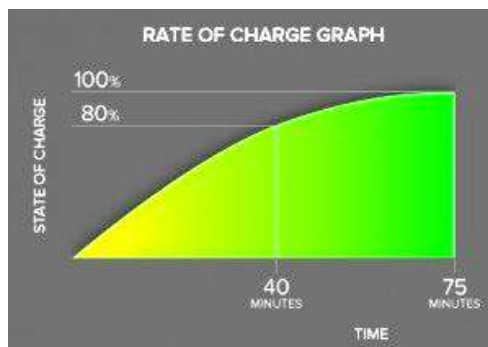
Tento typ nabíjacej stanice nabíja batérie elektromobilu jednosmerným prúdom. Teda obchádza palubnú nabíjačku a ukladá energiu priamo do článkov batérie. Tým sa výrazne skracuje čas potrebný na nabíjanie, pretože odpadá proces konvertovania vstupného striedavého prúdu palubnou nabíjačkou na jednosmerný prúd.

Supercharger pracuje s vstupným napätím až 480 V. Prvé stanice Tesla Supercharger, ktoré sa začali budovať v roku 2012, mali výkon 90 kW. Výkon druhej generácie bol 120 kW. Súčasný najmodernejšie stanice majú výkon 135 kW. Pre porovnanie druhý najvýkonnejší typ

nabíjacích staníc CHAdeMo disponuje nabíjacím výkonom 50 – 62 kW. Niektoré nabíjacie stanice Supercharger sú napájané zo solárnych panelov umiestnených na streche stanice. [2]

RÝCHLOSŤ NABÍJANIA TESLA SUPERCHARGER

Uvádzaná rýchlosť nabíjania cez Supercharger je 270 km dojazdu za pol hodiny nabíjania. Štandardne sa rýchlosť nabíjania vyjadruje v km/h. Dôvodom, prečo Tesla neuvádza rýchlosť nabíjania v km/h je, že Supercharger nenabíja batériu konštantnou rýchlosťou. Z dôvodu bezpečnosti a ochrany batérie sa rýchlosť nabíjania automaticky zníži po nabití batérie na úroveň 80 %. [2]



Obr. 3.9 Priebeh rýchlosti nabíjania Supercharger v čase [1]

Batéria 90 kWh Modelu S sa má nabiť z 10 na 80 % za 40 minút. Nabitie na 100 % kapacity trvá ďalších 35 minút. Reálnu rýchlosť nabíjania však ovplyvňuje množstvo faktorov, napríklad okolitá teplota, obmedzenie rozvodnej siete či aktuálne vyťaženie staníc. V tab. 3.1 vidíme orientačné časy nabíjania Modelu S s 90 kWh batériou. [2]

Tab.3.1 Orientačné časy nabíjania Modelu S nabíjacou stanicou Supercharger. [2]

Dĺžka nabíjania [min]	20	40	75
Úroveň nabitia [%]	50	80	100

BATTERY SWAPPING STANICE

Ide o ďalší typ staníc Tesla Motors. Základným princípom je priama výmena vybitých batérií za plne nabité. Na týchto staniciach by teda boli uskladnené plne nabité batériové bloky, ktoré by sa jednoducho vymieňali za batérie vo vozidlách. Skúšobná prax ukázala, že čas trvania takejto výmeny je približne 3 minúty. Originálnu batériu by si majiteľ mohol vyzdvihnúť na spiatočnej ceste alebo by si vymenenú batériu mohol ponechať. Ak by išlo o novšiu batériu, rozdiel by doplatil. Bola by k dispozícii aj možnosť zaslania originálnej batérie za prepravný poplatok. Cena za výmenu batérie sa mala pohybovať medzi 60 – 80 \$.

Prvá takáto stanica bola vybudovaná v roku 2015 v Kalifornii. Išlo o testovaciu prevádzku. Hlavným cieľom bolo zistiť dopyt po tejto službe a ekonomické aspekty. Dopyt bol však minimálny a v súčasnosti Tesla Motors budovanie týchto staníc nezaraďuje medzi svoje priority. [2]

3.6 EMISIE ELEKTROMOBILOV

Nahrádzanie automobilov so spaľovacím motorom elektromobilmi šetrí energiu za predpokladu, že elektrina je produkovaná efektívnymi a modernými elektrárnami. Ďalej sa redukuje emisie uhlíka, keď podiel elektriny je generovaný jadrovými elektrárnami alebo alternatívnymi zdrojmi, ktoré neuvolňujú uhlík. Vo Veľkej Británii je okolo 20 % elektriny sprostredkovanou jadrovými elektrárnami a ďalších 10 % alternatívnymi zdrojmi, napríklad veternými alebo vodnými elektrárnami. Vo Francúzsku je 90 % elektriny generovanej tak, že nevylučuje uhlík. V roku 2003 bolo napríklad vo Francúzsku 75 % elektrickej energie produkovanej jadrovými a ďalších 15 % vodnými elektrárnami. Iba 10 % bolo získaných z elektrární na fosílnych palivách. [29]

3.6.1 PRIMÁRNE A SEKUNDÁRNE EMISIE

Výrobcovia pri svojich elektrických modeloch uvádzajú nulové emisie CO₂. Znamená to, že automobil využívajúci na svoj pohon elektrickú energiu neprodukuje výfukové plyny. Má teda nulové primárne emisie. To tieto automobily robí mimoriadne vhodnými najmä v mestskej prevádzke, lebo dokážu prispieť k zníženiu znečistenia ovzdušia v oblastiach, kde je to nevyhnutné. Nesmieme však zabúdať, že aj elektrická energia musela byť nejako vyrobená. Množstvo emisií vyprodukovaných pri výrobe elektriny sa líši v závislosti od druhu elektrárne. To môžeme označiť za sekundárne emisie elektromobilov.

To, kde vlastník elektromobilu nabíja batérie svojho vozidla, ovplyvňuje jeho sekundárne emisie. V oblastiach, kde elektrická energia pochádza z jadrových elektrární či obnoviteľných zdrojov, elektromobily môžu dramaticky znížiť emisie skleníkových plynov. V prípade, že elektrická energia pochádza z uhlia, ako napríklad v Číne, je príspevok elektromobilov k čistejšiemu ovzdušiu výrazne nižší. V priemere emisie súvisiace s elektromobilmi môžu byť približne o polovicu nižšie ako v prípade benzínových či naftových vozidiel, avšak v Číne je tento rozdiel len asi 15 %. Z obnoviteľných zdrojov je najčistejšia veterná energia, pretože výstavba a výroba turbín najmenej zaťažuje životné prostredie. Americké ministerstvo energetiky odhaduje, že hybridný automobil Toyota Prius a elektromobil Nissan Leaf pri zohľadnení sekundárnych emisií z elektrární majú rovnaké emisie CO₂, a to približne 125 g/km. Časopis Scientific American dokumentoval rozdiel v emisiách v závislosti od odlišného energetického mixu v rámci USA. Štáty, ako je Kalifornia, Florida či Texas, využívajú veľký podiel obnoviteľných zdrojov. Elektromobil by tam teda mal emisie približne 63 g/km, čo v porovnaní s hybridom je asi polovica. Na juhu a juhozápade USA by však elektromobil produkoval viac emisií ako hybrid. Napríklad v Minnesote, ktorá využíva fosílnych palív, by vyprodukoval až 188 g/km. Krajiny by teda mali podporovať ten typ alternatívneho pohonu, ktorý zodpovedá ich energetickému mixu. Časopis poukazuje aj na to, že úroveň reálnych emisií elektromobilov závisí aj od času nabíjania. V noci pracujú zväčša uhoľné elektrárne, a teda nabíjanie v noci môže znamenať podstatne vyššie emisie skleníkových plynov ako nabíjanie cez deň, keď sa na výrobe elektriny podieľajú aj alternatívne zdroje. Analytická spoločnosť BNEF upozorňuje, že tieto odhady sa rapídne menia. A to preto, že vo väčšine priemyselných krajín sa znižujú emisie produkované elektrárnami, a preto, že čoraz prísnejšie emisné normy nútia automobilky vyvíjať čoraz úspornejšie motory s nižšími emisiami. V oblastiach, kde batérie sú vyrábané výlučne zo solárnej energie, elektromobily majú takmer jedenásťnásobne menšie emisie než vozidlá na tradičné pohony. Inde rozdiel môže byť minimálny. [64]

3.7 BEZPEČNOSŤ ELEKTROMOBILOV

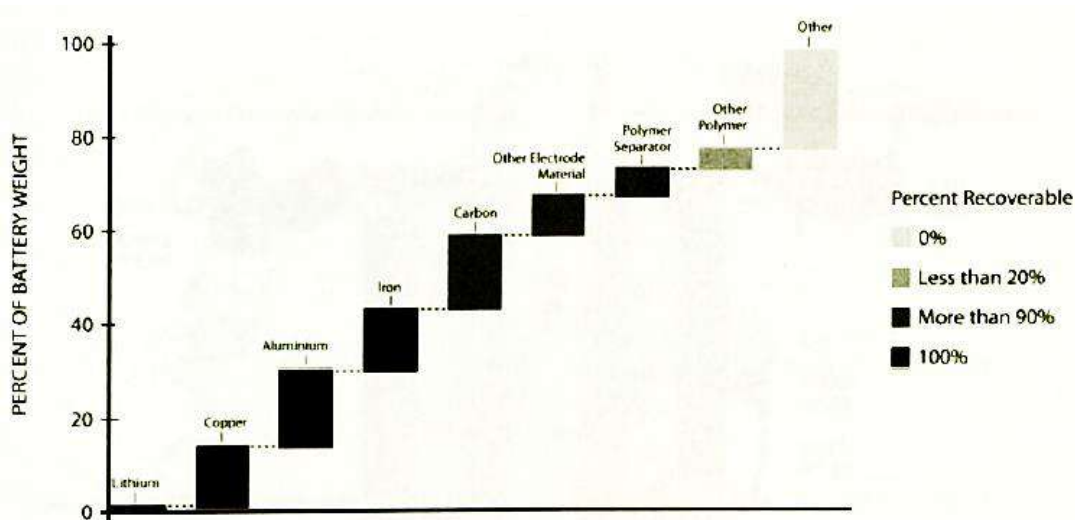
Elektromobily sú známe pre svoj tichý chod. Dá sa povedať, že počas ich prevádzky je hlavným zdrojom hluku iba valenie pneumatík po vozovke. To môže spôsobovať zvýšenie nebezpečenstva pre chodcov, cyklistov, alebo iných účastníkov cestnej premávky, ktorí by takéto vozidlo nemuseli zaregistrovať včas. Táto skutočnosť predstavuje problém najmä za zníženej viditeľnosti. Elektrické vozidlá na batérie nemajú žiadnu palivovú nádrž, čím je eliminované riziko vznietenia paliva. Toto sa však, samozrejme, netýka elektromobilov s palivovými článkami, ktoré musia mať nádrž pre vodík.

3.8 VÝHODY ELEKTROMOBILOV

Hlavnou výhodou elektromobilov je absencia priamych emisií. Sú teda ideálne na použitie v mestách, kde táto vlastnosť je žiaduca, pričom zníženie smogu bude hrať čoraz dôležitejšiu úlohu. Sekundárne emisie závisia od spôsobu výroby elektriny, ktorou sú batérie dobíjané. Tieto emisie nevznikajú však v mieste prevádzky elektromobilu, ale v elektrárni pri výrobe energie. Množstvo týchto emisií závisí predovšetkým od druhu elektrárne. Aj po ich zohľadnení majú však elektromobily priemerne nižšie emisie ako automobily pracujúce na tradičné palivá. Môžeme teda povedať, že jeho skutočné emisie závisia od spôsobu, ako bola vyrobená elektrická energia použitá na jeho nabitie. Ďalšou prednosťou je aj tichosť chodu. V prípade elektromobilu nie je potrebné použitie prevodovky. Nové technológie batérií a možnosti nabíjania postupne zvyšujú akčný rádius a znižujú čas potrebný na dobitie batérií, čím sa postupne zvyšuje komfort použitia elektromobilov na dlhé cesty. Ten však v súčasnosti ešte nieje na úrovni automobilov so spaľovacím motorom, ktorým jednoducho stačí za pár minút natankovať.

3.9 NEVÝHODY ELEKTROMOBILOV

Nevýhodou elektrických vozidiel je limitovaná kapacita batérií, ktoré spôsobujú zvýšenie hmotnosti vozidla. Akčný rádius týchto vozidiel je relatívne malý. S tým súvisí problém zatiaľ riedkej siete nabíjacích staníc. [35] Pri zlom zneškodnení batérie po uplynutí jej životného cyklu látky, ktoré sú v nej obsiahnuté, napríklad kyseliny a lítium, môžu znečistiť životné prostredie. Batéria je však zariadenie s uzavretým systémom, a tak tieto látky by sa z nej nemali dostať von. Li-ion batérie majú veľký potenciál na recykláciu, ako môžeme vidieť na obr. 3.10. [52]



Obr. 3.10 Recyklovateľnosť materiálov v Li-ion batérii podľa hmotnosti [52]

4 VODÍKOVÝ POHON

Vodík môže byť použitý aj v palivových článkoch, aj priamo ako palivo pre spaľovacie motory. Z dlhodobého hľadiska sa predpokladá skôr jeho využitie v palivových článkoch, kde sa dosahuje vyššia efektívnosť ako vo vodíkovom spaľovacom motore. [45]

4.1 VODÍK AKO PALIVO PRE SPAĽOVACIE MOTORY

Musíme počítať s tým, že fosílna palivá budú vyčerpané. Z biologických palív nebude možné zabezpečiť celú svetovú spotrebu motorových palív. Zdá sa, že ideálnym palivom budúcnosti sa stane vodík. Ten je vlastne iba akumulátor energie, avšak ľahký, nezníčiiteľný a všeobecne použiteľný. [31] Porovnanie vlastností vodíka s benzínom a naftou vidíme v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Porovnanie vodíka s benzínom a naftou. [31]

	Benzín	Nafta	Kvapalný vodík
Hustota	0,73	0,86	0,071
Bod varu [°C]	38 až 204	160 až 343	-253
Spodná výhrevnosť [kJ/kg]	$4,49 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$	$12 \cdot 10^4$
Spodná výhrevnosť [kJ/m ³]	$32,7 \cdot 10^6$	$36,8 \cdot 10^6$	$8,52 \cdot 10^6$
Stechiometrická zmes	14,8	14,5	34,6
Teplota zapálenia [°C]	257	254	574
Rýchlosť horenia [m/s]	0,34	0,34	2,7

Vynikajúca je hustota energie vodíka. Ten sa už dnes používa na pohon kozmických lodí. Dá sa dobre použiť v spaľovacích motoroch, ale aj v turbínach, Stirlingovom motore a podobne. [31]

4.1.1 VÝROBA VODÍKA

Získava sa štiepením vody elektrolýzou na vodík a kyslík. Zmiešaním oboch plynov a ich zapálením zhorí opäť na vodu. Je to nezníčiiteľný akumulátor energie, ktorý nenarušuje biologickú rovnováhu na zemi. [31] Vodík môže byť vyrobený chemickým procesom zo zemného plynu, uhlia či biomasy a elektrolýzou vody. Dnes ho získavame prevažne v priemyselnom rozsahu z parnej reformácie zemného plynu. [45]

4.1.2 SKLADOVANIE VODÍKA

Skladovanie vodíka na palube je pravdepodobne najväčší problém pri navrhovaní vozidiel na palivové články. [14] Vodík má vysokú hustotu energie vzhľadom na hmotnosť, približne 120 MJ/kg, teda takmer trikrát viac ako benzín, ale jeho hustota energie vzhľadom na objem je veľmi nízka z dôvodu jeho nízkej hustoty. Pre skladovanie to znamená, že musí byť pod tlakom (350 – 700 bar) alebo skvapalnený (kryogénne skladovanie pri -253 °C) kvôli dosiahnutiu prijateľného objemu nádrže. [45] V nádobách s tlakom 700 bar dosiahneme vyššiu hustotu energie, ale súčasne to vyžaduje hrubšiu konštrukciu. To sa prejaví nielen na zvýšenej hmotnosti, ale zväčší to aj požadovaný priestor na uloženie nádrže. [52] Alternatívne by sa dali použiť aj iné palivá, ako napríklad metanol, z ktorých by sa dal extrahovať vodík potrebný na fungovanie palivových článkov. [14]

4.2 PALIVOVÉ ČLÁNKY AKO ZDROJ ELEKTRINY

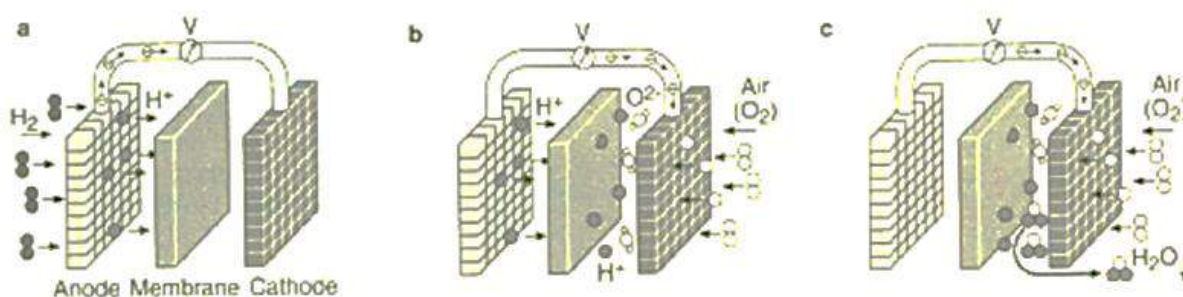
Vozidlo s palivovými článkami je zaujímavou alternatívou konvenčného pohonu. Základom toho je podstatne výhodnejšia účinnosť v porovnaní s konvenčným pohonom a malé, prípadne žiadne škodlivé emisie. Elektropohon je zvlášť výhodný na pohon vozidiel pre svoju momentovú charakteristiku. Ak bude použité palivo ako metanol alebo iný uhľovodík, bude nevyhnutné urobiť iba malé zmeny v infraštruktúre zásobovania palivom. Súčasná sieť čerpacích staníc môže byť naďalej používaná a priebeh tankovania bude prebiehať ako obvykle. [57] Palivové články vynášiel už v roku 1839 Sir William Grove. Štrukturálne sa podobajú batériám, avšak na rozdiel od nich nevyužívajú dopredu naakumulovanú energiu. Palivové články sú poháňané palivom (vodíkom) a oxidantom (kyslíkom) a generujú elektrickú energiu, takže dokážu pracovať tak dlho, dokedy im stačia zásoby vodíka. [14] Sú to elektrochemické konvertory, ktoré konvertujú chemickú energiu priamo z paliva na elektrickú energiu. Vo vodíkových/kyslíkových palivových článkoch vodík reaguje v studenom spaľovaní s kyslíkom za vzniku vody, produkujúc elektrický prúd. Palivové články fungujú bez pohyblivých častí a mechanického trenia. Operujú efektívne, s nízkou hlučnosťou a bez znečisťujúcich emisií. [45] V prípade použitia kyslíkovo-vodíkoveho palivového článku je reakčným produktom voda, ktorá môže byť elektrolyzér om opätovne konvertovaná na kyslík a vodík. Táto kombinácia palivového článku a elektrolyzéra je väčšinou uvedená ako regeneratívny palivový článok a v praxi funguje ako dobíjateľná batéria. Žiadna hmota nie je spotrebúvaná (s výnimkou určitých strát) a systém potrebuje iba energiu. [14]

4.2.1 PRINCÍP FUNGOVANIA PALIVOVÝCH ČLÁNKOV

Palivový článok pozostáva z dvoch elektród – anódy a katódy, ktoré sú navzájom oddelené elektrolytom. Elektróda neprepúšťa ióny. Elektródy sú navzájom spojené externým elektrickým obvodom. PEM-FC sa používajú v automobilových aplikáciách. [45] Činnosť tohto typu palivového článku môžeme vidieť na obr. 4.1.

Figure 1: Operating principle of the PEM fuel cell

- a) Hydrogen oxidation,
- b) Oxygen reduction,
- c) Water production.



Obr. 4.1 Princíp fungovania PEM palivových článkov [45]

V PEM palivových článkoch je vodík nasmerovaný na anódu, kde je oxidovaný. Rozdelí sa na protóny a elektróny.

Anóda: $2 H_2 \rightarrow 4 H^+ + 4 e^-$

Elektrolyt je tvarovaný ako protónovo-vodivá polymérna membrána. Je priepustná pre protóny, ale nie pre elektróny. Vodíkové protóny, ktoré sú formované na anóde, prechádzajú cez membránu a následne na katódu. Polymérna membrána musí byť dostatočne navlhčená pre túto protónovú vodivosť. Kyslík je smerovaný na katódu, kde je redukovaný. Redukcia nastáva elektrónmi, ktoré prešli z anódy externým obvodom na katódu.

Katóda: $\text{O}_2 + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{O}^{2-}$

V ďalšom stupni reakcie ióny O^{2-} a protóny spolu reagujú za vzniku vody.

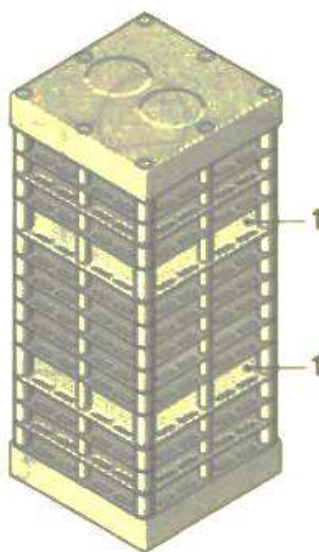
Katóda: $4 \text{H}^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

Celková reakcia palivového článku má za následok premenu vodíka a kyslíka na vodu. Na rozdiel od elektrolytickej reakcie plynov, v ktorých vodík a kyslík spolu reagujú explozívne, transformácia v tomto prípade sa koná ako „chladné spaľovanie“, pretože jednotlivé kroky reakcie sa dejú na rozdielnych miestach – na katóde a na anóde.

Celková reakcia: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

Tieto reakcie sa dejú za prítomnosti katalyzátorov v elektródach palivového článku. Najpoužívanější materiál je platina. Napätie jednotlivého vodíkového/kyslíkového palivového článku je teoreticky 1,23 V pri teplote 25 °C. Táto hodnota je získaná z normálnych elektródových potenciálov. V prevádzke však toto napätie nie je dosiahnuté. V skutočnosti je to medzi 0,5 a 1,0 V. Napätie je podstatne závislé od teploty, stochiometrických pomerov vodíka a kyslíka, množstva produkovanej elektriny, parciálnych tlakov vodíka a kyslíka a prúdovej hustoty. Vo vozidlách sú zásobníky energie v rozsahu 5 – 100 kW. V zmysle dosiahnutia vyšších napätí, požadovaných pre technické aplikácie, sú individuálne články elektricky sériovo prepojené a tvoria zásobník, pozri obr. 3.5. Zásobníky sú tvorené približne 40 až 450 článkami, čiže maximálne prevádzkové napätia sú medzi 40 V a 450 V. Vysoké prúdy sú dosiahnuté vhodne veľkými membránovými povrchmi. V automobilových aplikáciach tečú prúdy až do 500 A. [45]

Figure 4: Structure of the fuel-cell stack
1 Individual fuel cell.



Obr. 4.2 Štruktúra zásobníka palivových článkov [45]

4.2.2 PALIVOVÉ ČLÁNKY PODĽA TYPU ELEKTROLYTU

V súčasnosti rozoznávame nasledujúcich päť systémov. [57]

ALKALICKÉ ČLÁNKY

Alkalické články (AFC's), v ktorých je elektrolytom spravidla zriedený hydroxid draselný KOH.

Obe elektródy sú vyrobené zo spekaného práškoveho niklu s prísadou uhlíka (kvôli zvýšeniu elektrickej vodivosti) a opatrené vrstvičkou platiny ako katalyzátoru. Článok pracuje pri teplotách 50 – 100 °C.

Molekuly obsiahnuté v elektrolyte sa štiepia podľa reakcie: $\text{KOH} \rightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$. Vodík privádzaný na anódu reaguje s aniónmi OH^- podľa rovnice: $2 \text{H}_2 + 4 \text{OH}^- \rightarrow 4 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$. Uvoľnené elektróny prídu vonkajším obvodom ku katóde, kde reagujú s privádzaným kyslíkom a vodou podľa rovnice: $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$. Anióny OH^- prenikajú elektrolytom späť k anóde, kde sa ďalej zúčastňujú na reakcii. Voda na anóde sa vyvíja dvakrát rýchlejšie, ako sa spotrebúva na katóde.

Najväčšou prednosťou alkalických článkov je vysoká účinnosť, až 70 %, energetická výdatnosť a značné množstvo vody, ktorá je vedľajším produktom a možno ju recyklovať.

Nevýhodou sú vysoké obstarávacie náklady. Vysoká je najmä cena elektród v dôsledku prítomnosti platiny a iných katalyzátorov zo vzácnych kovov. Ďalšou nevýhodou je, že KOH prítomný v elektrolyte reaguje so vzdušným CO_2 za vzniku uhličitanu draselného K_2CO_3 . Ten postupne degraduje vlastnosti elektrolytu a zanáša póry elektród. Z tohto dôvodu musí byť ako okysličovadlo dodávaný čistý kyslík, čo tiež predražuje prevádzku článku. [57]

ČLÁNKY S TUHÝMI POLYMÉRMÍ

Články s tuhými polymérmi (PEFC's), v ktorých je elektrolytom tuhý organický polymér.

Merný výkon týchto článkov je od ostatných typov s výnimkou článkov s kyselinou fosforečnou až o rad vyšší. Tieto články pracujú s vodíkovým palivom získavaným z uhl'ovdíkovo a vzdušným kyslíkom. Tuhý polymér ako elektrolyt znižuje nebezpečenstvo korózie obvyklej v článkoch s kvapalnými elektrolytmí. Nízka prevádzková teplota 70 až 85 °C zaisťuje dostatočne rýchly nábeh článku a nevyžaduje žiadne tepelné odtienenie na ochranu obsluhy.

Elektrolytom je tenká polymérová membrána, vyzerajúca ako silejšia potravinová fólia. Pôsobí ako elektrónový izolátor a súčasne ako vynikajúci vodič vodíkových katiónov. Ako materiál sa používa polymér na báze uhlíka a fluóru podobný teflónu, ku ktorého reťazcu sú pripojené skupiny obsahujúce kyselinu sulfonovú. Protóny môžu cez membránu voľne migrovať, pričom straty v dôsledku vnútorného odporu elektrolytu sú nepatrné.

Katóda a anóda sú vyrobené aplikáciou malého množstva platinovej čierne na jednu stranu tenkého listu porézneho grafitického papiera, ktorý bol najprv opatrený teflónovou ochranou proti zvlhnutiu. Potom je elektrolytická membrána vložená medzi anódu a katódu a všetky tri časti sú za vysokého tepla a tlaku spojené do jedného celku. Tento celok má hrúbku menšiu než 1 mm a tvorí základ palivového článku. Vďaka nižšiemu množstvu platiny poklesla jeho cena na prijateľnú úroveň.

Tieto články sú charakterizované prúdovou hustotou viac ako 4 A na 1 cm² aktívnej plochy a napätím 0,5 V, čo dáva výkon na úrovni viac ako 2 W/cm². Ak je však ako okysličovadlo namiesto kyslíka použitý vzduch, prúdová hustota klesá až o 50 %. [57]

ČLÁNKY S KYSELINOU FOSFOREČNOU

Články s kyselinou fosforečnou (PAFC's), kde je elektrolytom kyselina fosforečná HPO₃.

Tieto články sa radia medzi teplé, pretože pracujú pri teplote asi 190 °C. Palivom môže byť čistý vodík alebo niektoré uhl'ovodíky, napríklad metán CH₄. Elektrolyt HPO₃ je obsiahnutý v matrici z karbidu kremíka s prísadou teflónu. Jemná porézna štruktúra matrice do značnej miery zabraňuje úniku elektrolytu v čase činnosti článku. Napriek tomu jeho menšie množstvo môže byť strhnuté prúdom paliva či okysličovadla. Preto sa po určitom čase elektrolyt musí skontrolovať, prípadne doplniť.

Obe elektródy sú tenké doštičky z pórovitého uhlíka s platinovým povlakom, ktorý slúži ako katalyzátor. Palivo aj okysličovadlo sú privádzané k zadným stenám elektród paralelnými drážkami v doskách z uhlíka či uhlíkatých zlúčenín. Tieto dosky majú vysokú elektrickú vodivosť a odvádzajú elektróny z anódy na katódu susedného článku. Pozdĺž jednej strany sa privádza palivo k jednému článku a pozdĺž druhej okysličovadlo k susednému článku. V niektorých z týchto dosiek bývajú aj chladiace kanálky, ktorými prúdi vzduch či voda s cieľom odvádzania nadbytočného tepla.

Plošný výkon takéhoto článku je približne 0,2 W/cm². Elektrická účinnosť sa pohybuje medzi 36 až 42 %, pričom vyššie hodnoty sa dosahujú pri zvýšenom tlaku paliva a okysličovadla. To však vyžaduje prídavné zariadenia a zvyšuje náklady. Tepelná účinnosť je medzi 31 až 37 %. [57]

ČLÁNKY S ROZTAVENÝMI UHLIČITANMI

Články s roztavenými uhličitami (MCFC's), kde je elektrolyt tvorený zmesou roztavených uhličitánov.

Ide o teplé články, ktorých pracovná teplota sa pohybuje okolo 600 °C. Dôsledkom je skutočnosť, že elektródy nemusia byť opatrené katalyzátorom z ušľachtilých kovov, ktoré inak zaistujú plynulý priebeh oxidácie a redukcie.

Elektrolytom je zmes roztavených uhličitánov v pórovitej chemicky inertnej keramickej matrici pozostávajúcej zo zmesi oxidov lítia a hliníka (LiAlO₂). Zloženie sa môže meniť, ale spravidla obsahuje uhličitan lítny Li₂CO₃ a uhličitan draselný K₂CO₃. Za prevádzky článku je zmes uvedených solí roztavená a má veľmi vysokú iónovú vodivosť. Malá časť elektrolytu sa v čase prevádzky článku môže odpariť, čo však na parametre článku nemá rozhodujúci vplyv. Palivom je zemný plyn, ktorý sa v dôsledku vysokých teplôt vnútri článku rozkladá za vzniku plynného vodíka, alebo plyny vznikajúce spracovaním uhlia.

Obe elektródy musia byť navrhnuté tak, aby boli schopné trvalo pracovať vo veľmi agresívnom prostredí vyvolávajúcom koróziu. Anóda je vyrobená spekaním práškového niklu a prísadou chrómu a je vysoko porézna. Katóda je vyrobená z oxidu nikelnatého NiO dopovaného lítiom. Rýchlosť korózie katódy je významným faktorom životnosti článku.

Nevýhodou je komplikovanejšie naštartovanie článku – kým sa dostane do teplého stavu. Ďalej je tu nebezpečenstvo otravy sírou, ktorá v určitom množstve je prítomná v zemnom plyne. S rastúcou teplotou sa mení teoretické napätie článku a spolu s ním aj elektrická účinnosť. Vyššia teplota urýchľuje reakcie, a teda aj veľkosť prúdu pri danom napätí. Teplotu možno udržať reguláciou rýchlosti prúdu vzduchu. Vo všeobecnosti možno povedať, že výstupný výkon článku je o niečo vyšší ako pri článkoch s kyselinou fosforečnou. [57]

ČLÁNKY S TUHÝMI OXIDMI

Články s tuhými oxidmi (SOFC's), kde sú elektrolytom oxidy vybraných kovov.

Uvedené systémy sa líšia chemickými reakciami prebiehajúcimi na jednotlivých elektródach, prevádzkovou teplotou a účinnosťou elektrochemických premien.

Tieto články využívajú keramický elektrolyt. Ten nevyvoláva koróziu, eliminuje problémy spojené so zaobchádzaním s tekutým elektrolytom a nekladie žiadne obmedzenia na tvar článku. Pre zaistenie jeho priemernej iónovej vodivosti musí pracovať pri teplotách okolo 1000 °C. Pri týchto teplotách však nie je nutné používať katalyzátor, palivom nemusí byť čistý vodík a súčasne produkty spaľovania (prehriatu vodnú paru) možno použiť na ďalšiu výrobu elektrickej energie či tepla.

Elektrolytom býva najčastejšie tuhá zmes oxidov yttria a zirkónu. Tieto látky pri dostatočne vysokých teplotách patria medzi výborné vodiče dvojmocných aniónov kyslíka. Anóda pozostáva z niklu a oxidu zirkoničitého ZrO_2 stabilizovaného oxidom yttritým Y_2O_3 . Ide o látky zabráňujúce spekaniu častíc niklu. Poréznosť anódovej štruktúry sa pohybuje medzi 20 až 40 %. Katóda má aj poréznu štruktúru a pripravuje sa zo zliatiny lantanu a oxidu manganového dopovanej menším množstvom stroncia. Táto zliatina vykazuje vlastnosti polovodiča typu p.

Napätie článku je približne 0,6 V pri prúdovej hustote asi 0,25 A/cm². Životnosť presahuje 30 000 h. Elektrická účinnosť článku závisí od tlaku paliva a vzduchu. Pri normálnom tlaku je asi 45 %, pri vyšších tlakoch teoreticky až 60%. [57]

4.3 EMISIE VODÍKOVÉHO POHONU

Vodík zhorí s kyslíkom na čistú vodu. Ak sa vo vozidlách používa na jeho spaľovanie vzduch, objavia sa vo výfukových plynach oxidy dusíka, ktoré sa však dajú obmedziť na neškodný podiel. Sú však odstránené všetky uhlíkaté škodliviny, zlúčeniny olova, síry a podobne. [31] Palivový systém motora je prispôsobený pomocou elektronického zmiešavacieho systému, ktorý určuje zmiešavací pomer vodíka a vzduchu. Spaľovanie prebieha s prebytkom vzduchu. Prídavný vzduch v spaľovacom priestore odníma teplo a tým teplota plameňa klesá pod kritickú medzu, nad ktorou by sa zmes mohla sama vznietiť. Nízka teplota spaľovania súčasne bráni vzniku oxidov dusíka (NO_x), ktoré sú v redukčnom katalyzátore zážihových motorov neutralizované. Bez ďalších prídavných zariadení vodíkové motory pracujú prakticky bez emisií, oproti benzínu všetky emisné komponenty sú znížené až o 99,9 %. [57]

4.4 BEZPEČNOSŤ VODÍKOVÉHO POHONU

Vodík nie je taký nebezpečný ako benzín. Pretože je veľmi ľahký, pri netesnosti nádrže alebo spojov uniká rýchlo hore a nehromadí sa pri zemi. [31] Z bezpečnostných dôvodov býva vo vozidle umiestnených niekoľko vodíkových senzorov. Vodík je plyn bez farby a zápachu. So vzduchom tvorí výbušnú zmes, ak je obsiahnutý aspoň v 4 % objemu. Sensory reagujú už pri dosiahnutí úrovne 1 %. [45]

4.5 VÝHODY VODÍKOVÉHO POHONU

Vodík je jeden z najpočetnejších prvkov na zemi. [31] Je to zároveň aj jednou z jeho hlavných výhod pri hľadaní alternatív za fosílna palivá. Zároveň má veľmi vysokú hustotu energie vzhľadom na hmotnosť, a to až 120 MJ/kg. [45] Ďalšou výhodou je vysoká priemerná efektívnosť medzi nádržou a kolesami, v prípade vozidla poháňaného palivovými článkami je to až 36 %, zatiaľ čo v prípade naftového vozidla je to iba 22 %. Použitie palivových článkov je efektívnejšie ako aplikácia spaľovacích motorov, ale stále zaostáva za batériami. [14]

4.6 NEVÝHODY VODÍKOVÉHO POHONU

Vodík síce má vysokú hustotu energie vzhľadom na hmotnosť, ale jeho hustota energie vzhľadom na objem je, naopak, nízka. Z toho dôvodu musí byť uskladnený pod vysokým tlakom (350 – 700 bar) alebo skvapalnený (kryogénne skladovanie pri -253 °C). Týmto sa dosahuje prijateľnejší objem nádrže. [45] Skladovaním v takýchto nádobách síce docielime vyššiu hustotu energie vzhľadom na objem, ale je nevyhnutná hrubšia konštrukcia, ktorá je zároveň ťažšia a vyžaduje si väčší priestor na uloženie. [52] Existuje však možnosť použitia iných palív, z ktorých by sa dal extrahovať vodík potrebný na fungovanie palivových článkov. [14]

ZÁVER

Napriek mŕňajúcim sa zásobám ropy a nárastu ceny pohonných hmôt už dnes máme k dispozícii veľa alternatívnych palív, ktorými môžu byť poháňané konvenčné spaľovacie motory. Prestavba na tieto palivá si vyžaduje menšie alebo väčšie zásahy do vozidla. Použitím iných palív dokážeme výrazne znížiť emisie vozidiel. Tieto palivá sú zväčša lacnejšie, a preto aj pri miernom zvýšení spotreby dokážu ušetriť časť nákladov na prevádzku. Nesmieme zabúdať, že použitie iného paliva ovplyvní niektoré vlastnosti vozidla. Často prichádza k zníženiu výkonu. Nemusí to však byť pravidlom. Použitie etanolu v kombinácii so špeciálnou jednotkou, naopak, dokáže výkon vozidla zvýšiť. Niektoré typy alternatívnych palív sú už dnes pomerne rozšírené v rámci vybudovanej siete čerpacích staníc.

Na zníženie lokálnych emisií v meste sa ako dobré riešenie javí použitie hybridného pohonu kombinujúceho spaľovací motor s elektrickým. Niektoré typy takýchto vozidiel dokážu fungovať v mestskej prevádzke bez vylučovania primárnych emisií. Výhodou hybridných vozidiel v porovnaní s elektromobilmi zatiaľ zostáva ich väčší akčný rádius a bezproblémové využitie aj na dlhé vzdialenosti. Hybridné vozidlá sú dobrým riešením na zníženie lokálnych emisií práve v oblastiach, kde je to najnevyhnutnejšie, napríklad v mestách.

Elektrické vozidlá predstavujú možnosť jazdiť bez akýchkoľvek primárnych emisií a za predpokladu ekologicky vyrobenej elektrickej energie sú skutočným prínosom pre životné prostredie. Mohli by sa stať taktiež riešením po vyčerpání ropy. Ich nevýhodou však naďalej zostáva relatívne malý akčný rádius, stále nedostatočne hustá sieť nabíjajúcich staníc a hlavne dlhý čas nabíjania v porovnaní s natankovaním nádrže vozidla so spaľovacím motorom. V súčasnosti sa však tieto nevýhody zmierňujú najmä v dôsledku veľkých technologických pokrokov.

Budúcnosťou sa môže stať použitie vodíka v palivových článkoch, ktoré slúžia ako zdroj energie pre elektrické vozidlá. Bola by tým eliminovaná hlavná nevýhoda dlhého nabíjania. Vodík má vynikajúcu hustotu energie vzhľadom na hmotnosť, ale pre jeho nízku hustotu musí byť špeciálne skladovaný, čo zvyšuje hmotnosť a náročnosť na konštrukciu nádrže. Rozšírením miest s možnosťou tankovania vodíka by sa táto alternatíva mohla stať z hľadiska dlhodobej budúcnosti správnym riešením.

POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] ANTHONY, Sebastian. *Tesla starts offering Model S battery swaps, for fast 'refueling' at Supercharger stations* [online]. In: . 2014 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <<https://www.extremetech.com/extreme/196313-tesla-starts-offering-model-s-battery-swaps-for-fast-refueling-at-supercharger-stations>>
- [2] BAKŠA, Juraj. Tesla supercharger Tesla Supercharger – technológia, rýchlosť nabíjania a mapy. *TeslaMagazín.sk* [online]. 2016 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <<http://www.teslamagazin.sk/tesla-supercharger/>>
- [3] Bezpečnosť vozidiel s plynovým pohonom LPG / CNG. *Lpg-cng.ochranamotoru.cz* [online]. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/bezpecnost-aut-na-plyn-lpg-cng-ekologie-ochrana.htm>>
- [4] Biopaliva frčí. *Biopalivafrci.cz* [online]. c2017 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <<http://biopalivafrci.cz/co-jsou-to-biopaliva/vlastnosti/>>
- [5] Bionafta. *PMDiesel* [online]. c2017 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <<http://pmdiesel.sk/bionafta/>>
- [6] BUREŠ, David. Mazda i-ELOOP: Místo baterií kondenzátor. *Auto.cz: nejlepší jízda na webu* [online]. 2011 [cit. 2017-02-21]. ISSN 1213-8991. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/mazda-i-eloop-63307>>
- [7] Ceník přestaveb LPG. *Fedorauto.cz* [online]. c2012 [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <<http://www.fedorauto.cz/cenik-prestavby-lpg>>
- [8] *Cng.cz* [online]. [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <<http://www.cng.cz/cs/index/>>
- [9] Čo je to Hybrid?: Hybridné technológie. *PPC TEAM plus s.r.o.: Autorizovaný predajca a servis* [online]. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <<http://www.ppcteam.sk/articles/co-je-to-hybrid>>
- [10] DUFFY, Marcia. The pros and cons of natural-gas vehicles. In: *Bankrate.com* [online]. Palm Beach Gardens, 2012 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <<http://www.bankrate.com/finance/auto/natural-gas-vehicles.aspx>>
- [11] DVOŘÁK, František. Statistiky poruchovosti: systém start-stop dělá potíže. *IDNES.cz: Auto* [online]. 2013 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://auto.idnes.cz/statistiky-spolehlivosti-aut-deq/-/auto_ojetiny.aspx?c=A130510_145320_auto_ojetiny_fdv>
- [12] Find Us Tesla. In: *Tesla.com* [online]. c2017 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <<https://www.tesla.com/findus>>

- [13] FOKT, Michal. Volvo vyvíjí hybridní systém na bázi KERS. *Auto.cz: Nejlepší jízda na webu* [online]. 2014 [cit. 2017-02-21]. ISSN 1213-8991. Dostupné z: <<http://www.auto.cz/volvo-vyvi-ji-hybridni-system-bazi-kers-80354>>
- [14] GENTA, Giancarlo, Lorenzo MORELLO, Francesco CAVALLINO a Luigi FILTRI. *The motor car: past, present and future*. Dordrecht: Springer, c2014. Mechanical engineering series. ISBN 978-94-007-8551-9.
- [15] *Gnosis9.net: Internetový magazín pro ty, kdo hledají poznání* [online]. c2016 [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <<http://gnosis9.net/populace.php>>
- [16] GROHMANN, Jan. Inteligentní tlumiče vyrábějící elektrickou energii. *Hybrid.cz: Magazín o budoucnosti dopravy* [online]. 2011 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/inteligentni-tlumice-vyrabejici-elektrickou-energii>>
- [17] GROHMANN, Jan. MiTRE: Mikroturbína pro hybridní auta. *Hybrid.cz: Magazín o budoucnosti dopravy* [online]. 2016 [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/mitre-mikroturbina-pro-hybridni-auta>>
- [18] HEISLER, Heinz. *Advanced engine technology*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2009. ISBN 978-0340568224.
- [19] Honda Dream II. In: *Virtual World Solar Challenge* [online]. Sydney [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<http://wsc.pv.unsw.edu.au/help/index.cgi?descrip>>
- [20] HORČÍK, Jan. LPG. *Hybrid.cz: Magazín o budoucnosti dopravy* [online]. 2010 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/slovník/lpg>>
- [21] HORČÍK, Jan. Svět se prohýbá pod tíhou 1 miliardy aut. *Hybrid.cz: Magazín o budoucnosti dopravy* [online]. 2011 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/1-miliarda-tolik-dnes-jezdi-po-svete-aut>>
- [22] HORČÍK, Jan. Paralelní hybrid. *Hybrid.cz: Magazín o budoucnosti dopravy* [online]. 2009 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/slovníček/paralelni-hybrid>>
- [23] How Hybrids Work. *U.S. Department of Energy: Energy Efficiency & Renewable Energy* [online]. c2017 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <<https://www.fueleconomy.gov/feg/hybridtech.shtm>>
- [24] IKRINSKÝ, Alexander. Prichádza doba hybridná: čo nevíete alebo chceli by ste vedieť o hybridoch. *SME.sk: Auto* [online]. Bratislava: Petit press, 2011 [cit. 2017-02-15]. ISSN 1335-4418. Dostupné z: <<https://auto.sme.sk/c/5962063/prichadza-doba-hybridna.html>>
- [25] Informace o jednotce. *Autoethanol.cz: Přestavby na E85* [online]. 2009 [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <https://www.autoethanol.cz/autoethanol/INFORMACE-O-JEDNOTCE-a7_0.htm>

- [26] JANCO, Marcel. Čo je to oktánové číslo benzínu? *Autorubik.cz* [online]. 2012 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <<http://www.autorubik.sk/clanky/co-je-to-oktanove-cislo-benzinu>>
- [27] JIRKA, Tomáš. Hybridní systémy pro pohon automobilů. In: *Oenergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/elektrina/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu/>>
- [28] Jízda na plyn LPG nebo CNG – Jaké jsou výhody a specifika. *Lpg-cng.ochranamotoru.cz* [online]. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auta-jizda-slapni-na-plyn-ropny-lpg-propan-butan.htm>>
- [29] LARMINIE, James a John LOWRY. *Electric Vehicle Technology Explained*. Second Edition. Chichester: WILEY, 2012. ISBN 978-1-119-94273-3.
- [30] LPG v číslech. *Lpgservis.sk* [online]. c2011 [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <<http://www.lpgservis.sk/lpg-v-cislach>>
- [31] MACKERLE, Julius. *Automobil s lepší účinností*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [32] MALÁK, Ladislav. Mazda i-ELOOP sníží spotřebu o 10 percent. *AutoBild* [online]. Bratislava, 2011 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <<https://autobild.cas.sk/clanok/186585/mazda-i-loop-znizi-spotrebu-o-10-percent/>>
- [33] Malé plniace stanice CNG. In: *NEAT a.s.: energy for the 3rd millennium* [online]. Košice, c2015 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <<http://www.neat-energy.com/domaci-cng-plnicky>>
- [34] MARCINKOVÁ, Anna. Cesta k biopalivům se jmenuje ozdobnice. *Osel.cz: Objective Source E- Learning* [online]. 2008 [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <<http://www.osel.cz/3827-cesta-k-biopalivum-se-jmenuje-ozdobnice.html>>
- [35] MOM, Gijs. *Electric vehicle: technology and expectations in the automobile age*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2013. ISBN 978-1-4214-0970-2.
- [36] Možnosti nabíjania elektromobilov. *ElectroCar.sk: All4car* [online]. c2017 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <<http://www.electrocar.sk/nabijanie-elektromobilov/>>
- [37] Najčastejšie otázky. *Autonaplyn.sk* [online]. c2015 [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <http://www.autonaplyn.sk/najcastejsie_otazky.php>
- [38] Natural Gas Fuel Basics. *U.S. Department of Energy: Energy Efficiency & Renewable Energy* [online]. 2016 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.afdc.energy.gov/fuels/natural_gas_basics.html>

- [39] Návratnosť prestavby na LPG. *Igas.sk: IGAS s.r.o: plyn v doprave* [online]. c2015 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <<http://www.igas.sk/motoristi-montaz-lpg-cng/oplati-sa-lpg-cng/navratnost-prestavby-na-lpg>>
- [40] Něco málo o spalování. *Schiedel.cz: Heating. Venting. Living.* [online]. Nehvizdy [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <<http://www.schiedel.cz/cz/neco-malo-o-spalovani>>
- [41] Palivo budoucnosti? Podle odborníků CNG. In: *E-flotila.cz: Magazín řídících pracovníků firemních flotil* [online]. Praha [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <<http://www.e-flotila.cz/magazin/sprava-flotily/1202-palivo-budoucnosti-podle-odborniku-cng>>
- [42] Prestavba auta na CNG: Vybrať si CNG alebo LPG? In: *Lacnevozenie.sk: All4car* [online]. Záriačie, c2017 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <<http://www.lacnevozenie.sk/prestavba-auta-na-cng/>>
- [43] Propan butan v podobě LPG – Původ a specifika. *Lpg-cng.ochranamotoru.cz* [online]. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/propan-butan-v-podobe-auto-plynu-lpg-specifika.htm>>
- [44] Průběh přestavby vozidla LPG / CNG. *Lpg-autogascentrum.cz* [online]. c2016 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <<http://www.lpg-autogascentrum.cz/prubeh-prestavby-na-lpg-cng/>>
- [45] REIF, Konrad a Karl-Heinz DIETSCHE. *Automotive handbook: Bosch - invented for life*. 8th ed., revised and extended. Chichester: John Wiley, 2011. ISBN 978-1-119-97556-4.
- [46] REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [47] SAJDL, Jan. CNG (Compressed Natural Gas). In: *Autolexicon.net: .. s námi uvidíte pod kapotu* [online]. c2017 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <<http://www.autolexicon.net/sk/articles/cng-compressed-natural-gas/>>
- [48] SAJDL, Jan. Hybridní pohon. In: *Autolexicon.net: .. s námi uvidíte pod kapotu* [online]. c2017 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <<http://www.autolexicon.net/cs/articles/hybridni-pohon/>>
- [49] SAJDL, Jan. Regenerativní brzdění – rekuperace brzděné energie. *Autolexicon.net: ...s námi uvidíte pod kapotu* [online]. c2017 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <<http://www.autolexicon.net/sk/articles/regenerativni-brzdeni/>>
- [50] SAJDL, Jan. Start/Stop. *Autolexicon.net: ...s námi uvidíte pod kapotu* [online]. c2017 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <<http://www.autolexicon.net/cs/articles/startstop/>>

- [51] Series vs Parallel vs Series/Parallel Drivetrains. *Union of Concerden Scientists: Science for healthy planet and safer world* [online]. Cambridge, MA [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <<http://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/series-vs-parallel-drivetrains#.WLW6ld82vIV>>
- [52] SERRA, João Vitor Fernandes. *Electric vehicles: technology, policy and commercial development*. London: Routledge, 2012. ISBN 978-1-84971-415-0.
- [53] SKOPAL, František. Bionafta (FAME) - náhrada za fosilní naftu. In: *Katedra fyzikální chemie: při fakultě chemicko-technologické Univerzity Pardubice* [online]. Pardubice [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka_cinnost_bionafta.htm>
- [54] Stechiometrické spaľovanie. *Alfatuning.sk* [online]. Dubnica nad Váhom, c2013 [cit. 2017-01-26]
Dostupné z:<http://www.alfatuning.sk/stechiometricke_spalovanie.php?lang=sk>
- [55] STONE, Richard. *Introduction to Internal Combustion Engines*. 4th Edition. Hampshire: Palgrave Macmillan, 2012. ISBN 978-0-230-57663-6.
- [56] Ventil typu VBE pro nádrž CNG. In: *Elpigas-eshop.cz: Autodíly a materiály pro přestavby vozidel na LPG a CNG* [online]. Zábřeh, c2012 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <<http://www.shopgaz.cz/ventil-typu-vbe-pro-nadrz-cng-m12x1-w28-8-24v>>
- [57] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel: Zemní plyn CNG, Ropný plyn LPG, Biopaliva, Etanol a metanol, Elektřina, Vodík*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [58] VOKÁČ, Luděk. Volva dostanou na zadní kola setrvačnik, ušetří tak až čtvrtinu paliva. *Ides.cz: auto* [online]. Praha, 2013 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://auto.idnes.cz/volvo-setrvacnik-kers-06u-/automoto.aspx?c=A130501_114455_automoto_vok>
- [59] Vše o Ethanolu E85. In: *FLEXCAR.cz: přestavby vozidel na bioethanol E85* [online]. Praha, 2012 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <<http://www.flexcar.cz/vse-o-ethanolu-e85>>
- [60] Vysokotlaké kompresory CNG - plničky domácí / firemní. In: *Cngcompany.cz* [online]. Zdice, c2017 [cit. 2017-01-24]. Dostupné z: <http://www.cngcompany.cz/57-vysokotlake_kompresory_cng_-_plnicky_domaci/_firemni>
- [61] *Wikiwand.com* [online]. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.wikiwand.com/en/Hybrid_vehicle_drivetrain>
- [62] Základné princípy nabíjania elektromobilov Tesla. *TeslaMagazin.sk* [online]. c2017 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <<http://www.teslamagazin.sk/nabijanie-elektromobilov-tesla/#zakladne-principy-nabijania>>

[63] Základní informace o LPG a o jízdě na zkapalněný ropný plyn. *Lpg-cng.ochranamotoru.cz* [online]. [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <<http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auta-jizda-slapni-na-plyn-ropny-lpg-propan-butan.htm>>

[64] ZVERKOVÁ, Soňa. Sú elektromobily naozaj „čisté“? *AutoBild* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <<https://autobild.cas.sk/clanok/211905/su-elektromobily-naozaj-ciste/>>

[65] ŽÁK, Dalibor. Turbíny se možná vrátí do aut jako generátor k prodloužení dojezdu. *Autobible.cz* [online]. 2016 [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: <<http://autobible.euro.cz/turbiny-se-mozna-vrati-aut-jako-generator-k-prodlouzeni-dojezdu/>>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

AC	Alternating Current
AFC's	Alkaline fuel cells
atď.	a tak ďalej
B	bután
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
cca	približne
CN	Cetane Number
CČ	cetánové číslo
CNG	Compressed Natural Gas
CVT	Continuously Variable Transmission
ČR	Česká republika
DC	Direct Current
DOH	Degree of Hybridisation
ECU	Electronic Control Unit
EÚ	Europska únia
KERS	Kinetic Energy Recovery System
Li-ion	lítium-iónový
LPG	Liquified Petroleum Gas–
MCFC's	Molten carbonate fuel cells
MiTRE	Micro Turbine Range Extender
MHD	Mestská hromadná doprava
napr.	napríklad
obr.	obrázok
OČ	oktánové číslo
ON	Octane Number
P	propán
PAFC's	Phosphoric acid fuel cells
PEFC's	Proton Exchange fuel cells
PEM	Proton Electrolyte Membrane
PEM-FC	Proton Electrolyte Membrane Fuel Cells
resp.	respektíve
tab.	tabuľka
tis.	tisíc
tzv.	takzvaný
SR	Slovenská republika
UCS	Union of Concerned Scientists
USA	Spojené štáty americké (United States of America)